

Aus dem III. Anatomischen Institut
der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med. Hans Joachim Clemens

DIE PRÄVERTEBRALE UND DIE ZUNGENBEINMUSKULATUR
IHRE BIOMECHANISCHE BEDEUTUNG
FÜR DIE HALSWIRBELSÄULE

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Barbara Wirsching geb. Single

aus Stetten i. R.

1972

Aus dem III. Anatomischen Institut der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr.med. Hans Joachim Clemens

DIE PRÄVERTEBRALE UND DIE ZUNGENBEINMUSKULATUR.

Ihre biomechanische Bedeutung für die Halswirbelsäule.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Barbara Wirsching geb. Single

aus

Stetten i.R.

Referent: Professor Dr.med. Hans Joachim Clemens

Korreferent: Professor Dr.med. Fritz Hofmeister



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche der
Freien Universität Berlin

Promoviert am: 5. Juli 1972

Inhaltsübersicht

1. Einleitung

2. Prävertebrale Muskulatur

2.1 Präparationstechnik (Material und Methodik)

2.1.1 Oberflächliche Präparation

2.1.2 Mazeration

2.1.3 Präparation von Horizontalschnitten

2.2 Ergebnisse und Diskussion

2.2.1 Genaue Beschreibung

M. longus capitis

M. longus colli

2.2.2 Zusammenfassende Diskussion

M. longus capitis

M. longus colli

2.3 Querschnittsmessungen (Material und Methodik)

2.4 Ergebnisse und Diskussion

2.4.1 Andere Methoden zur Querschnittsbestimmung

2.4.2 Ergebnisse

M. longus capitis

M. longus colli

Gesamte prävertebrale Muskulatur

2.4.3 Zusammenfassende Diskussion

2.5 Längenmessungen (Material und Methodik)

2.6 Ergebnisse und Diskussion

M. longus capitis

M. longus colli

3. Zungenbeinmuskulatur

3.1 Allgemeines

3.2 Querschnittsmessungen (Material und Methodik)

3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.4 Längenmessungen (Material und Methodik)

3.5 Ergebnisse und Diskussion

4. Biomechanik

4.1 Allgemeines

4.2 Retroflexion im Atlanto-okzipital-Gelenk

4.2.1 Drehpunkt-Schwerpunkt

Material und Methodik

Ergebnisse und Diskussion

4.2.2 Messungen des Lotes vom Drehpunkt auf die Faser- richtung des M. longus capitis und der oberen Zungenbeinmuskulatur

4.2.3 Bestimmung des Wirkungsgrades der auf das obere Kopfgelenk wirkenden Muskeln gegenüber Horizontal- kräften

M. longus capitis

Obere Zungenbeinmuskulatur

4.3 Retroflexion der Halswirbelsäule

4.3.1 Allgemeines

4.3.2 Prävertebrale Muskulatur

4.3.3 Untere Zungenbeinmuskulatur

4.3.4 Andere Strukturen, die die Rückbeugung der Halswirbelsäule hemmen

5. Bemerkungen zur Muskelphysiologie
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis
8. Anhang



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1. Einleitung

Im Rahmen der Biomechanik bei "Schleuderverletzungen" im Bereich der Halswirbelsäule stellen sich für die Technik biologische Probleme, deren Beantwortung sowohl für die Konstruktion von Kraftfahrzeugen als auch für die Sicherheit der Kraftfahrzeuginsassen von größter Wichtigkeit ist (GÖGLER 1968). Dabei zeigt es sich, daß biologische Daten für die Technik vielfach noch unzureichend sind oder sogar ganz fehlen (HERTZBERG 1969 u.a.).

Es wurde deshalb in dieser Arbeit der Versuch unternommen, die prävertebrale Hals- und die Zungenbeinmuskulatur auf ihre Struktur, ihren Verlauf, ihre Querschnittsgrößen und ihre biomechanische Bedeutung für die Halswirbelsäule zu untersuchen.

2. Prävertebrale Muskulatur

2.1 Präparationstechnik (Material und Methodik)

2.1.1 Oberflächliche Präparation

Zur oberflächlichen Präparation der prävertebralen Muskulatur gelangte eine Wirbelsäule eines 55-jährigen Mannes mit einer gut ausgebildeten prävertebralen Muskulatur. Der Wirbelsäulenabschnitt, der präpariert wurde, reichte von der Schädelbasis bis zum 4. Thorakalwirbel. Nachdem die prävertebrale Muskulatur frei auf der Halswirbelsäule lag, wurde mit der stufenweisen Präparation der einzelnen Schichten begonnen. Unter Verwendung einer Stereolupe wurde vorsichtig teils stumpf mit einer Pinzette, teils scharf mit Schere und Skalpell präpariert. Auf der linken Seite wurde der M. longus capitis scharf abgetragen, um besser an die tiefen Schichten zu gelangen. Rechts wurde er vorsichtig auf der Unterlage mobilisiert. Während einzelner Präparationsstufen wurden zahlreiche Fotografien angefertigt.

2.1.2 Mazeration

Die wie oben beschrieben präparierte Wirbelsäule wurde in einer 10 %igen Antiforminlösung im Brutschrank bei einer Temperatur von ca. 50°C bis auf Knochen und Sehnen vorsichtig mazeriert. Das Präparat wurde nach je 45 min aus dem Schrank genommen, unter kaltem Leitungswasser abgespült und die Stufe der Mazeration kontrolliert.

Am Ende der Mazeration, also in dem Stadium, in dem alle Sehnen noch vorhanden, die Muskulatur aber entfernt war, wurden wieder Fotografien angefertigt.

2.1.3 Präparation von Horizontalschnitten

An den für die Querschnittsmessungen der prävertebralen Muskulatur angefertigten Gefrierschnitten (siehe 2.3) wurde an 2 Wirbelsäulen (Mann 82 Jahre, Frau 78 Jahre) die prävertebrale Muskulatur vorsichtig stumpf von ihrer Unterfläche abgehoben und die einzelnen Muskeln bzw. Muskelanteile voneinander getrennt. Dadurch konnten einerseits die Faszienvverläufe genau dargestellt werden, andererseits war auch ein besserer Zugang zur Rückseite der Muskulatur gegeben. Dabei wurde besonders Wert auf die Darstellung der in das Periost der Wirbelkörper einstrahlenden Fasern gelegt.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

2.2.1 Genaue Beschreibung

Die prävertebrale Muskulatur, bestehend aus M. longus capitis und M. longus colli, liegt der Halswirbelsäule auf (Abb. 1). Sie bildet paarige Stränge, die sich von kranial nach kaudal verschmälern und in ihrer Faserichtung etwa parallel zur Wirbelsäule ziehen. Beide Muskeln sind stark sehnig und auch muskulös miteinander verwachsen. Sie lassen sich daher an manchen Stellen nur schwer voneinander trennen.

M. longus capitis (M. rectus capitis anticus major bei LUSCHKA (1862), KRAUSE (1879) u.a.)

Die gesamte Oberfläche des Muskels, außer dem kranialen und dem kaudalen Sechstel, ist von einer kräftigen spiegelnden Sehnenplatte bedeckt. Klappt man den Muskel nach lateral, erkennt man auch auf der Dorsalfläche eine spiegelnde Sehnenplatte, in welche etwa 5 - 6 kräftige Sehnenzacken einstrahlen (Abb. 2). Sie entspringen an den Querfortsätzen des 3. - 6. Halswirbels und ziehen nach kranial lateral. Der M. longus capitis setzt an der Schädelbasis auf einer ca. 1 cm² großen Fläche an, die direkt vor und neben dem tuberculum pharyngeum vor den Okzipital-kondylen liegt. Zwei besonders kräftig ausgebildete Ursprungssehnen ziehen nebeneinander zu den Querfortsätzen

des 4. Halswirbels, eine ebenso kräftige zu den Querfortsätzen des 5. Halswirbels, während die anderen 3 Zacken schwächer ausgebildet sind. In Höhe des 4. Halswirbels gehen direkt aus den beiden beschriebenen Sehnenplatten 5 parallel laufende, flache Schaltsehnen hervor, die direkt in die Sehne des medialen Bauches des M. longus colli einstrahlen. Die am weitesten kaudal liegenden Muskelfasern verschwinden in Höhe des 6. Halswirbels unter dem kaudalen lateralen Bauch des M. longus colli oder strahlen in dessen Ansatzsehne ein.

In dem kranialen Anteil bis etwa zum 2. Halswirbelkörper läßt sich der M. longus capitis kaum von der Vorderseite der Halswirbelsäule abheben. Dies liegt an den in diesem Bereich besonders ausgebildeten bindegewebigen, muskulösen und sehnigen Verwachsungen, die teilweise bis ins Periost einstrahlen. Um dennoch einen Einblick in die Verhältnisse auf der Rückseite des M. longus capitis zu gewinnen, wurden die Horizontalschnitte, die für die im nächsten Kapitel beschriebenen Querschnittsmessungen angefertigt wurden, präpariert. Das Mazerationspräparat lieferte einen Einblick in die Sehnenverhältnisse (Abb. 3).

Die Ansatzfläche am Os occipitale besteht aus einer derben Sehnenplatte, die über das Periost am Knochen verankert ist. Es ist unmöglich, sie etwa vom Knochen zu

trennen. Aus ihr strahlen Sehnenfaserzüge zapfenförmig in den Muskel ein und stellen somit eine besonders gute Verbindung zum Kopf her. Von der Schädelbasis bis zum 1. Halswirbel verläuft der Muskel in einem "Führungskanal", der von derbem Bindegewebe gebildet wird. Die bindegewebige Umhüllung läßt sich mühelos vom Muskelbauch trennen, ist aber durch kräftige bindegewebige Stränge mit dem dem Knochen aufliegenden Bindegewebe verbunden, was die Trennung dieser beiden Schichten erschwert. Zwischen Muskel und Faszie liegt allseits eine gefäßreiche Verschiebeschicht. In den Muskel selbst sind kräftige Zwischensehnen eingeschaltet, die etwa ein Sechstel der Querschnittsfläche ausmachen. Schon hier zeigt sich, daß bei C1 der kräftigste Anteil des M. longus capitis liegt. Dies wird auch später anhand der Querschnittsmessungen noch bewiesen.

Etwa ab C2 wird der Muskel an Ventral- und Dorsalfläche von zwei kräftigen Sehnenplatten bedeckt, die lateral und medial in die entsprechenden Faszien übergehen. Sie kommunizieren außerdem mit ebenfalls plattenförmigen Zwischensehnen, so daß teilweise der Eindruck voneinander getrennter Muskelbäuche innerhalb des M. longus capitis entsteht. In die ventrale Sehnenplatte strahlen außerdem immer wieder Muskelfasern ein, so daß sie untrennbar mit dem Muskel verbunden wird. Von ihrer tatsächlichen Stärke

kann man sich erst anhand des Mazerationspräparates ein Bild machen, wobei sie sich als ein vom Ursprung bis C1/C2 ziehender, ununterbrochener Sehnenstrang darstellt, der - wie oben schon beschrieben - zahlreiche Fasern aus Zwischensehnen aufnimmt. Er nimmt auch die oben beschriebenen 5 - 6 Sehnenzacken auf, die von den tubercula anteriora der Querfortsätze des 3. - 6. Halswirbels kommen. Dieser Sehnenstrang erscheint wie ein "Stützkorsett", an dem die Fasern des Muskels ihren Halt finden. Jetzt wird auch deutlich, daß es sich bei der bisher immer beschriebenen dorsalen Sehnenplatte letztlich nur um Züge dieses "Sehnenstützapparates" handelt. Ehe die von kaudal dorsal kommend schräg nach kranial ventral gerichteten Ursprungssehnenzacken den Muskel durchziehen, bilden sie eine Strecke weit den dorsalen Abschluß des Muskels. Dementsprechend ist auch der Eindruck dieser dorsalen Begrenzung nicht der einer geschlossenen Sehnenplatte wie ventral, sondern wird immer wieder streckenweise von Muskulatur unterbrochen, bis ein neuer Sehnenzug von ventral kommend durchbricht. Entscheidend ist, daß der Winkel, den diese Sehnenfasern mit der Frontalebene bilden, sehr spitz ist.

Im kaudalen Sechstel, wo bei oberflächlicher Betrachtung der Eindruck erweckt wird, als höre die ventrale Sehnenplatte auf, zeigen die Scheibenpräparation und die

Mazeration, daß hier lediglich Muskelfasern auch von ventral diese Sehne bedecken. Sie zieht in diesem Bereich von ihrem Ursprung an den tubercula anteriora der Querfortsätze des 6. Halswirbels kommend unter dem kaudalen lateralen Bauch des M. longus colli entlang und wird dann etwa in Höhe des 5. Halswirbels oberflächlich sichtbar. Dort ziehen aber noch Fasern des kaudalen lateralen Bauches des M. longus colli, welcher an den Querfortsätzen des 5. Halswirbels ansetzt. Einige Sehnenfasern strahlen direkt in die Ansatzsehne dieses Bauches ein.

Der M. longus capitis weist in seinem ganzen Verlauf noch dadurch eine natürliche Führung auf, daß er in einer "vorgebildeten Rinne" zwischen den Wirbelkörpern und den Querfortsätzen verläuft. Er liegt in seinem lateralen Teil nur durch schmale bindegewebige Septen getrennt von der A. und den Vv. vertebrales und den Spinalnerven.

Die Innervierung erfolgt durch besondere Äste des Plexus cervicalis; die Blutversorgung durch die A. cervicalis ascendens, die aus dem truncus thyreocervicalis entspringt. Darauf soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden.

M. longus colli

Der M. longus colli zieht mit drei Bäuchen als platter Strang vom 3. Brustwirbel bis zum 1. Halswirbel

parallel zur Wirbelsäule. Er ist paarig wie der M. longus capitis und in seinem lateralen Teil von diesem bedeckt. Die verschiedenen Bäuche haben eine unterschiedliche Verlaufsrichtung. Der kraniale laterale Bauch zieht von kaudal lateral nach kranial medial, der mediale Bauch verläuft annähernd parallel zur Wirbelsäule, und der kaudale laterale Bauch verläuft von kaudal medial nach kranial lateral. Dadurch entsteht beiderseits der Halswirbelsäule der Eindruck von diesem Muskel gebildeter sehr flacher gleichschenkliger Dreiecke, die ihre Spitzen auf Höhe der Querfortsätze des 5. Halswirbels haben.

Der kraniale laterale Bauch (oberer lateraler Teil, M. longus atlantis, M. obliquus colli superior bei GRAY (1949), LUSCHKA (1862), BRAUS-ELZE (1954), M. obliquus colli anticus superior bei HYRTL (1889), Pars obliqua superior bei RAUBER-KOPSCH (1968)) entspringt mit mehreren feinen Sehnenfäden von den tubercula anteriora der Querfortsätze des 3. - 5. Halswirbels und setzt an der protuberantia atlantis auf einer etwa 3 x 3 mm großen Fläche an. Nur sein kranialer Anteil läßt sich stumpf von der Unterlage lösen. Ab dem 3. Halswirbel gibt der Muskelbauch zahlreiche Sehnen an den medialen Bauch und an die Querfortsätze ab. Der kraniale laterale Bauch besteht aus mehreren Faserbündeln, die über sehnige und muskuläre

Züge miteinander in Verbindung stehen. Die Abtragung vor allem des ihn zum großen Teil bedeckenden *M. longus capitis* sowie das Mazerationspräparat zeigen, daß es sich auch hier wieder um einen einfach gefiederten Muskel handelt, dessen Fasern an einer kräftigen "Führungssehne" ansetzen, welche ununterbrochen vom Ursprung bis zum Ansatz zieht. Auch hier strahlen wieder Sehnenfasern von den tubercula anteriora des 3. - 5. Halswirbels kommend spitzwinklig in die Hauptsehne ein. Ihre Zugrichtung verläuft von kaudal lateral nach kranial medial, da der Muskelbauch medial vor den Querfortsätzen liegt. Dadurch entsteht der obere Schenkel des beschriebenen Muskeldreiecks. Er bildet mit der Symmetrieebene einen Winkel von etwa 40° . Vom Atlas bis etwa zur Oberkante des 3. Halswirbels hat der Muskel einen ellipsenförmigen Querschnitt und füllt unter dem *M. longus capitis* liegend genau den natürlichen Sulcus zwischen dem hier strangförmigen vorderen Längsband und den Querfortsätzen aus. Die den Querschnitt teilweise beherrschenden Zwischensehnen durchziehen wie beim *M. longus capitis* in schräger Richtung den Muskelbauch. Der Muskel ist an der Ventral- und der Dorsalfläche von einer gut abzupräparierenden Faszie bedeckt, die, wie der Querschnitt deutlich macht, medial aus dem vorderen Längsband hervorgeht, während sie sich lateral zu einem Blatt vereinigt,

das sich bis in die Kapsel der kleinen Wirbelgelenke fortsetzt.

Der mediale Bauch (vertikale oder gerade Portion bei LUSCHKA (1862), GRAY (1949) und BRAUS-ELZE (1954), Pars recta bei LANZ-WACHSMUTH (1955)) bildet den kräftigsten und längsten Anteil des M. longus colli. Er entspringt schlanksehnig direkt an der Ventralfläche des 1. - 3. Brustwirbelkörpers, in deren Periost die Sehnenfasern einstrahlen. Er setzt mit einer flachen, breiten Sehne in der Höhe des 2. Halswirbels an, wobei Sehnenfasern sowohl ins vordere Längsband wie auch direkt ins Periost des 2. Halswirbelkörpers einstrahlen. Fast die ganze Ventralfläche, außer dem kaudalen Viertel und einem schmalen lateralen Streifen, ist von einem Sehnenspiegel bedeckt. Medial läßt sich der Muskelbauch nur mit dem Skalpell vom vorderen Längsband lösen und gibt vom 5. Halswirbel an z.T. fleischige Zacken an darunterliegende Teile des kaudalen lateralen Bauches ab (Abb. 4). Nach lateral ist der Muskel durch eine Vielzahl sehniger Verbindungen fest mit den Querfortsätzen des 3. - 5. Halswirbels verbunden.

Die Mazeration deckt wiederum ein ununterbrochen vom Ursprung bis zum Ansatz ziehendes, äußerst kräftiges Sehnensystem auf, das im kranialen Anteil des Muskel-

bauches als Spiegel oberflächlich sichtbar ist, aber auch dort, wo er kaudal von aufliegenden Muskelfasern bedeckt wird, nicht an Stärke verliert. Zahlreiche Fasern strahlen in diese Sehne ein. Ein Teil verläuft von lateral kaudal nach kranial medial und kommt von den Querfortsätzen des 3. - 5. Halswirbels. Andere Fasern gehen aus den zur Mitte gelegenen Anteilen der Sehne hervor und ziehen von kaudal lateral nach kranial medial, wo sie direkt ins vordere Längsband übergehen. Diese Fasern sind verantwortlich für die oben beschriebene, unlösbare Verbindung zu dem vorderen Längsband und dem medialen Bauch des M. longus colli. Im Querschnitt erscheint der Muskelbauch dreieckig. Er liegt ebenfalls in dem Sulcus zwischen den Wirbelkörpern und den Querfortsätzen. Er ist auch allseitig von zwei Faszienblättern umgeben, die medial aus dem vorderen Längsband hervorgehen und sich lateral zu einem Blatt vereinigen, welches zugleich die ventrale Abschirmung von der A. und den Vv. vertebrales sowie von den Spinalnerven übernimmt.

Kaudal, unterhalb des 6. Halswirbels, geht der mediale Bauch intensiv sehnige und muskuläre Verbindungen mit dem kaudalen lateralen Bauch ein. Er tauscht mit diesem Sehnen- und Muskelfasern aus und wird kaudal lateral teilweise von ihm überlagert. In diesem Bereich sind die beiden Bäuche auch im Querschnitt kaum voneinander zu trennen.

Der kaudale laterale Bauch (unterer medialer Teil, rectus colli inferior, obliquus colli inferior bei KRAUSE (1879), LANZ-WACHSMUTH (1955), GRAY (1949); unterer lateraler schräger Teil bei BRAUS-ELZE (1954); obliquus colli anticus inferior bei HYRTL (1889); pars obliqua inferior bei RAUBER-KOPSCH (1968)) entspringt schlanksehnig am 2. und 3. Brustwirbelkörper bzw. vom vorderen Längsband, tauscht wie erwähnt Fasern mit dem medialen Bauch des M. longus colli aus und setzt feinsehnig an den Querfortsätzen des 5. Halswirbels an (Abb. 4).

Dieser Muskelbauch liegt mit seinen Längenmaßen zwischen denen des medialen und des kranialen lateralen Bauches. Bei der oberflächlichen Betrachtung ist von ihm nur ein schmaler lateraler Streifen sichtbar, der vor dem Ansatz zwischen dem medialen Bauch und dem M. longus capitis in der Tiefe verschwindet. Er zieht mit seinen Fasern von kaudal medial nach kranial lateral und bildet somit den zweiten Schenkel des bereits erwähnten gleichschenkligen Muskeldreiecks. Es überrascht nicht zu hören, daß nach der Mazeration wieder eine kräftige vom Ursprung bis zum Ansatz ziehende Sehne übrigbleibt. Der sehnige Ursprung erfolgt etwas kaudal lateral von dem des medialen Bauches vom 3. Brustwirbel ausgehend. Die Fasern strahlen einerseits ins vordere Längsband ein, andererseits entspringen

sie auch direkt vom Wirbelkörper, was bei Abpräparation des vorderen Längsbandes deutlich wird.

Hier soll auf eine Tatsache hingewiesen werden, welche auch für die anderen Fälle, in denen Sehnenfasern in den Wirbelkörper einstrahlen, ihre Gültigkeit hat, daß nämlich diese direkt in den Faserring der Zwischenwirbelscheiben übergehen. Ebenso finden jene Sehnenausläufer, die mit dem vorderen Längsband eine Verbindung eingehen, dort den größten Halt, wo dieses Band seine beste Verankerung hat, nämlich an den Verwachsungen mit den *disci intervertebrales*. Über die vielfältigen Verbindungen zum medialen Bauch wurde bereits bei dessen Beschreibung berichtet (Abb. 5).

2.2.2 Zusammenfassende Diskussion der Präparations- ergebnisse

Aus der scheinbar verwirrenden Vielfalt der in den verschiedensten Richtungen verlaufenden und mit den mannigfachsten Verbindungen versehenen Zügen der prävertebralen Muskulatur lassen sich doch einige wesentliche Schlüsse auf die Funktion dieses Muskelsystems ziehen. Dazu betrachtet man am besten das Mazerationspräparat, denn die durchweg gefiederten Muskeln werden in der Hauptsache von ihren Sehnenzügen bestimmt, an denen die Muskelfasern ansetzen. So nimmt das Sehnenmaterial einen beträchtlichen Teil des Querschnitts ein. Hierbei ist die einzige Ausnahme der

kraniale Anteil des M. longus capitis. Der Grund hierfür ist wahrscheinlich in der Tatsache zu suchen, daß der Muskel mit seinem Einfluß auf das obere und untere Kopfgelenk noch eher eine dynamische Funktion hat, insofern als er die sagittalen Bewegungen des Kopfes im Atlanto-okzipital-Gelenk und die Drehbewegungen in den Atlanto-axial-Gelenken mitbestimmt. Dagegen dürfte die Hauptfunktion der übrigen Anteile der prävertebralen Muskulatur eine statische sein, insofern als sie im Antagonismus mit der Nackenmuskulatur die Normalstellung der Halswirbelsäule gegenüber Krafteinflüssen behaupten.

Ein Muskel mit einem geringeren Anteil an unelastischen Faserelementen ist für die zu einer dynamischen Funktion notwendigen Längenänderung besser gerüstet als einer, der auf Grund vieler kollagener Faseranteile eine größere Festigkeit besitzt. Bezeichnend für die hohen Belastungen, denen der kraniale Teil des M. longus capitis ausgesetzt ist, scheint auch seine gründliche Verankerung an der pars basilaris der Hinterhauptsschuppe zu sein, so wie seine Einbettung in einen Führungskanal aus derbem Bindegewebe, der ihm aber aufgrund einer lockeren Verschiebeschicht eine ausreichende Beweglichkeit sichert. Bis zu seinem Austritt aus dem übrigen Muskelsystem, also bis auf Höhe des 2. Halswirbels, verhält er sich jedoch wie die übrigen

Teile der prävertebralen Muskulatur. Diese läßt sich auf vier kräftige Sehnenstränge reduzieren, die alle über eine längere Ursprungs- und Ansatzstrecke hin mit derben Fortsätzen an den einzelnen Halswirbeln verankert sind und den Muskelfasern einen sicheren Widerhalt geben. Eine besondere Bedeutung für die Verankerung dieser Sehnenstränge haben der 3. - 5. Halswirbel. Von deren Querfortsätzen nehmen nämlich der M. longus capitis sowie der kraniale laterale Bauch des M. longus colli ihren Ursprung, während der mediale Bauch des M. longus colli dort ansetzt und bis zur ersten Zwischenwirbelscheibe hinauf zieht. Der kaudale laterale Bauch des M. longus colli zieht ebenfalls bis zum 5. Halswirbel nach kranial. Dieser Bereich ist also nach kranial wie nach kaudal durch jeweils zwei kräftige Sehnen-Muskelzüge wie mit einer "Zuggurtung" verankert. Er wird also bei einer Kontraktion dieser Muskeln die geringste Mobilität im Bereich der Halswirbelsäule aufweisen. Diese Haltefunktion wird noch dadurch begünstigt, daß die Sehnenzacken einen relativ langen Weg im spitzen Winkel auf die Wirbelsäule zu durch den Muskelbauch hinweg nehmen, wobei sie ihrerseits zahlreichen Muskelfasern Ursprungs- und Ansatzfläche bieten. Außerdem sind die zahlreichen beschriebenen Verbindungen zwischen den einzelnen Faserzügen von Bedeutung. Auch erscheint es sinnvoll, wie das vordere

Längsband mit in dieses Fasersystem einbezogen wird, wobei den mit den Faserringen der Zwischenwirbelscheiben festverwachsenen Anteilen der Vorzug gegeben wird gegenüber jenen, die den Wirbelkörper leicht lösbar überspannen.

Besonders erwähnt werden soll auch noch die Art, in der die "Verspannung" der Halswirbelsäule an ihrer Vorderseite durch die vier verschiedenen Fasersysteme erfolgt. Es sind dies einmal die schräg verlaufenden Züge des kranialen und des kaudalen lateralen Bauches, die das oben beschriebene Muskeldreieck bilden und die sich am Übergang der mittleren zur unteren Halswirbelsäule bei C5/C4 teilweise überkreuzen. Darüber liegen die Längszüge des M. longus capitis und des medialen Bauches des M. longus colli, die sich ebenfalls im Bereich der mittleren Halswirbelsäule überkreuzen. Die weitere Interpretation dieser Befunde erfolgt im Kapitel 6.1.

Die prävertebrale Muskulatur wird in den Werken der anatomischen Literatur zumeist etwas "stiefmütterlich" behandelt. Vor allen Dingen vermißt man ein Eingehen auf die sinnvolle Konstruktion der verschiedenen Sehnensysteme. Die Beschreibungen der Muskulatur weisen bei den einzelnen Autoren keine größeren Unterschiede auf und decken sich im wesentlichen mit den hier gefundenen Verhältnissen. Beson-

ders gelungene Abbildungen findet man bei PERNKOPF (1963) und HENLE (1871).

M. longus capitis

Viele Autoren¹ schreiben, daß der M. longus capitis mit 4 Sehnenzacken an den Querfortsätzen des 3. - 6. Halswirbels entspringt und an der Schädelbasis ansetzt. Die Lage von Ursprung und Ansatz stimmt mit den hier vorgenommenen Untersuchungen überein, jedoch wurden bei der genau untersuchten Wirbelsäule am Ursprung mehr Sehnenzacken gefunden. Es ist allerdings möglich, daß die oben genannten Anatomen die Zacken, die an einem Querfortsatz entspringen und deutlich trennbar sind, als eine gewertet haben, oder, daß bei der genau präparierten Wirbelsäule eine Varietät vorlag.

Sowohl HENLE (1871) als auch EISLER (1912) sprechen von einem oberflächlich zweibäuchigen, durch eine Schaltsehne getrennten M. longus capitis. Man sollte jedoch hier nicht von Muskelbäuchen sprechen, da es sich lediglich um eine Fiederung des Muskels handelt, sich diese "zwei Bäuche" in Ursprung und Ansatz nicht unterscheiden und sich auch nicht präparatorisch voneinander trennen lassen.

¹ (HENLE 1871, HYRTL 1889, GRAY 1949, LANZ-WACHSMUTH 1955, PERNKOPF 1963, RAUBER-KOPSCH 1968)

EISLER (1912) beschreibt als einziger der obengenannten Autoren den *M. longus capitis* als "kurze Muskelbündel, die mit einer Sehnenplatte alterieren".

M. longus colli

Nur EISLER (1912) und KRAUSE (1879) beschreiben den *M. longus colli* als zweibäuchigen Muskel; bei genauer Untersuchung findet man jedoch drei Muskelbäuche, die von anderen² bestätigt werden. Nennenswert erscheinen nur lediglich folgende Unterschiede bei einigen Autoren: LANZ-WACHSMUTH (1955) geben an, daß der mediale Bauch des *M. longus colli* erst am Atlas ansetzt, und daß der kaudale laterale Bauch des gleichen Muskels seine Ansatzpunkte erst am 2. und 3. Halswirbel hat. Die Befunde von EISLER (1912) und KRAUSE (1879), welche nur von zwei Bäuchen des *M. longus colli* sprechen, sollen hier unberücksichtigt bleiben.

² (HYRTL 1889, GRAY 1949, BRAUS-ELZE 1954, LANZ-WACHSMUTH 1955, PERNKOPF 1963, RAUBER-KOPSCH 1968, u.a.)



Abb. 1 Gesamtansicht der prävertebralen Muskulatur.
(Reprovit-Gerät; Blende 8; 0,9-fach vergrößert)



Abb. 2 Links: Ventrale, oberflächliche Ansicht des rechten
M. longus capitis und M. longus colli.
Rechts: Der M. longus capitis ist nach lateral ge-
klappt. Es sind so die kräftigen sehnigen
Ursprungszacken dieses Muskels sichtbar.
(Reprovit-Gerät; Blende 8; 1,9-fach vergrößert)



Abb. 3 Mazerationspräparat der Halswirbelsäule.
 Links: Sehnige Anteile des rechten *M. longus capitis*
 und *M. longus colli*.
 Rechts: Tiefe Sehnenschichten des *M. longus colli*.
 (Reprovit-Gerät; Blende 8; 1,3-fach vergrößert)



Abb. 4 Auf der Höhe von C3 - C5 ist der mediale Bauch des rechten M. longus colli durch z.T. fleischige Sehnenzacken mit darunterliegenden Teilen des kaudalen lateralen Bauches des gleichen Muskels verbunden. Außerdem werden in das vordere Längsband einstrahlende Sehnenzacken dieses Muskels sichtbar.
(Reprovit-Gerät; Blende 8; 4,1-fach vergrößert)



Abb. 5 Lateraler kaudaler Bauch des linken M. longus colli nach lateral geklappt. Zwei Sehnenstränge ziehen nach medial unter den medialen Bauch des M. longus colli. Die Halswirbelsäule ist links im Bild.
(Reprovit-Gerät; Blende 8; 6,9-fach vergrößert)

2.3 Querschnittsmessungen (Material und Methodik)

Zur Untersuchung gelangten 14 Wirbelsäulen (6 männlich, 8 weiblich) von Leichen im Alter zwischen 66 und 82 Jahren. Die Wirbelsäulenabschnitte, die untersucht wurden, reichten von der Schädelbasis bis zum 3. oder 4. Thorakalwirbel. Die oberflächliche Halsmuskulatur und die Halseingeweide wie Ösophagus, Trachea etc. wurden entfernt, so daß auf der knöchernen Wirbelsäule nur noch die prävertebralen Muskeln, also M. longus colli und M. longus capitis lagen. Die zur Untersuchung gelangten Wirbelsäulen wurden nach keinem besonderen Gesichtspunkt ausgewählt.

Jede Halswirbelsäule wurde 2 bis 4 Wochen in 10 %iger Formalinlösung fixiert. Danach wurden die Präparate im Kühlschrank tiefgefroren. Von diesen Wirbelsäulen wurden nun vom Os occipitale bis zum 3. Thorakalwirbel mit einer Bandsäge horizontale Gefrierschnitte hergestellt, die 1 - 1,5 cm dick waren. Danach wurde die Lage der Schnitte kontrolliert und so jeder Schnitt einem bestimmten Wirbel zugeordnet. Die Schnitte wurden also nicht von vornherein durch einen bestimmten Abschnitt (z.B. Bandscheibe) gelegt, um genau gleiche Segmente auszumessen.

Mit einem Reprovit-Gerät (Fa. Leitz, Wetzlar) wurden von jedem Schnitt Aufnahmen gemacht; je nach Qualität

der Schnitte wurde die Ober- bzw. Unterseite fotografiert. Die Bilder zeigten jeweils die prävertebrale Muskulatur mit ihren Begrenzungen und einem Maßstab. Nach 2,9- bis 6,5-facher Vergrößerung der Aufnahmen wurde die Fläche der prävertebralen Muskulatur mit einem Planimeter (Maho-Planimeter) bestimmt. Anhand des vergrößerten Maßstabes auf einer jeden Aufnahme ließ sich die natürliche Fläche der prävertebralen Muskulatur leicht berechnen. (Abb. 6)

Da die Schnitte nicht immer genau den Wirbelkörper trafen, sondern oft durch die Bandscheibe gingen, wurden solche Schnitte jeweils dem darüber liegenden Wirbelkörper zugeordnet.

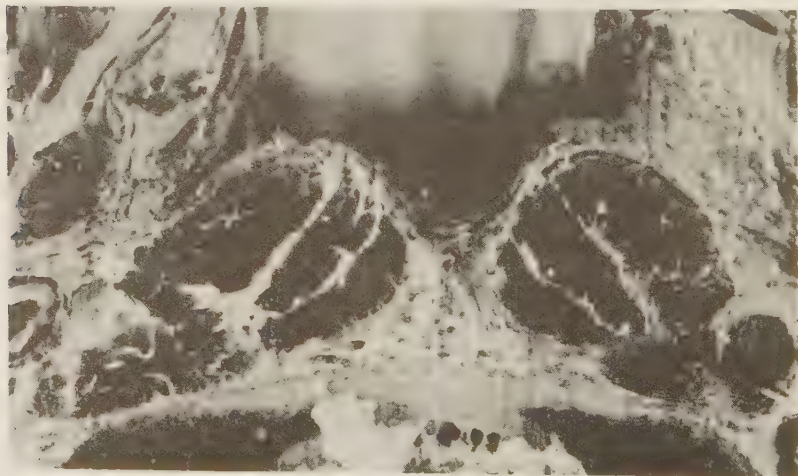


Abb. 6 Querschnitt durch die prävertebrale Muskulatur auf Höhe des ersten Halswirbels.

2.4 Ergebnisse und Diskussion

2.4.1 Andere Methoden zur Querschnittsmessung

In der entsprechenden Literatur findet man häufig Angaben über Methoden zur Querschnittsmessung.

v.LANZ und HENNIG (1953) geben bei ihren Querschnittsmessungen am M. iliopsoas eine neue Methode an: Sie messen nicht den Querschnitt direkt, sondern berechnen diesen aus dem Umfang des Muskels. Sie verformen den Muskel derart, daß er annähernd Kreisform annimmt; dann wird er mit einem ca. 0,5 - 1 cm breiten Bandmaß umschlungen. Ein zu schmales Band würde in den Muskel einschneiden und zu kleine Werte ergeben. LIPPERT (1959) stellt zur praktischen Anwendung dieser Methode eine Umrechnungstabelle auf. Obwohl diese Art, Querschnittsmessungen durchzuführen, gewisse Vorteile aufweist, ist sie für Messungen an der prävertebralen Muskulatur ungeeignet, da man - wie bereits LIPPERT (1959) angibt - bei geringen Querschnitten zwar einen ziemlich konstanten absoluten Fehler bekommt, aber der relative Fehler der Querschnittsbestimmung annähernd umgekehrt proportional der Länge des Umfangs wird. Außerdem läßt sich die prävertebrale Muskulatur nur schlecht von der Wirbelsäule lösen, so daß ein gewisser Anteil der Muskulatur bei dieser Art der Umfangs- bzw. Querschnittsmessung unberücksichtigt bleibt.

WEBER (1881) berechnet den Muskelquerschnitt nach der Formel $Q = \frac{P}{l \cdot s}$, wozu er das Gewicht P, die mittlere Faserlänge l und das spezifische Gewicht s des Muskels bestimmt. Für die Messungen an der prävertebralen Muskulatur ist diese Methode wieder nicht geeignet, da auch hier die Muskulatur von ihrer Auflagefläche gelöst werden muß; außerdem ist die Gewichtsbestimmung der Muskulatur mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Um genaue Werte zu erhalten, müßte das Feuchtgewicht der prävertebralen Muskeln bestimmt werden. Dies müßte in einer "feuchten Kammer" mit gleichbleibender Temperatur und konstantem Feuchtigkeitsgehalt erfolgen, um allzu erhebliche Meßfehler zu vermeiden.

GROHMANN (1902) und FICK (1910) durchtrennen den Muskel quer zu seiner Faserrichtung, färben die Schnittflächen mit Stempelfarbe an und drücken diesen Querschnitt auf Papier ab. Auf dem Papier wird die Stempelfläche ausgeschnitten, auf Bleiplatten übertragen und dann gewogen. Auch diese Methode weist erhebliche Schwierigkeiten technischer Art auf, die schon bei der selektiven Färbung der Muskulatur beginnen. Auch kann das Papier durch den feuchten Muskel wellig werden, so daß schon die Übertragung auf die Bleiplatten fehlerhaft erfolgt. Sehr schwierig ist das genaue Ausschneiden der Bleiplättchen, da es sich

hierbei ja immerhin um Metall handelt, das nicht einfach mit einer Sphäre bearbeitet werden kann. Als eine Weiterführung dieser "Stempelmethode" ist die photometrische Bestimmung dieser Stempelfläche zu betrachten. Diese Methode ist aber technisch für die hier vorgenommenen Untersuchungen viel zu aufwendig.

BUCHNER (1877), ROSCHDESTWENSKY und FICK (1913) u.a. pressen den Muskel in eine graduierte Gabel, wobei er aber in eine unphysiologische Form gezwungen wird, und dabei auch die Ablesegenauigkeit zu wünschen übrig läßt. Außerdem müßte auch bei dieser Methode die prävertebrale Muskulatur von der Wirbelsäule gelöst werden.

Um den anatomischen Besonderheiten der prävertebralen Muskulatur in etwa gerecht zu werden, wurde die in 2.3 beschriebene Methode gewählt. Sie hat den großen Vorteil, daß die prävertebrale Muskulatur in ihrer natürlichen Umgebung belassen werden kann und nicht von der Wirbelsäule gelöst werden muß. Die gewählte Methode ist zwar etwas aufwendig, scheint aber für die Größenverhältnisse und die Lage der prävertebralen Muskulatur die genaueste zu sein, obwohl natürlich allgemein für alle erwähnten Methoden gilt: Je dicker ein Muskel ist, desto genauer werden die ermittelten Querschnittswerte sein.

2.4.2 Ergebnisse³

Bei den 14 präparierten Wirbelsäulen ließen sich nicht immer auf den verschiedenen Schnitten alle Muskelquerschnitte bestimmen; deshalb variiert in den einzelnen Spalten der Tab. 1 - 3 die Zahl der Fälle zum Teil beträchtlich. In einigen Fällen war es unmöglich, im Querschnitt den M. longus capitis und den M. longus colli voneinander zu trennen. Diese Fälle tauchen dann lediglich in Tab. 3 auf. Ganz unbeachtet blieben diejenigen Ergebnisse, die nur einseitig vorlagen, d.h. wo entweder nur der linke oder nur der rechte Muskel planimetriert werden konnte.

Es erscheint wenig sinnvoll, beim Vergleich der Querschnittsgrößen der Muskulatur auf Höhe der einzelnen Halswirbel die errechneten Mittelwerte zu benutzen, da sich diese aus von verschiedenen Individuen gewonnenen Meßwerten zusammensetzen. Deshalb muß versucht werden, für jeden einzelnen Muskel, dessen Querschnitt bestimmt wurde, die Schwankung in seiner Stärke über den ganzen Verlauf der Halswirbelsäule zu verfolgen.

M. longus capitis (Tab. 1)

Es fällt auf, daß bei sämtlichen untersuchten Indi-

³ Sämtliche Einzelmeßwerte sind im Anhang aus Tab. IA - IO ersichtlich.

viduen bis auf eine Ausnahme der *M. longus capitis* den größeren maximalen Querschnitt hatte als der *M. longus colli*, und zwar liegt diese dickste Stelle des *M. longus capitis* immer zwischen dem Hinterhaupt und dem Atlas, was schon bei der Präparation des Muskels aufgefallen war. Die Werte schwanken hier zwischen 3,3 und 1,4 cm² (linke und rechte Seite des Muskels zusammen). Der arithmetische Mittelwert beträgt 2,4 cm². Auf der Höhe des Atlas liegen nur drei Meßwerte vor, da die Muskulatur hier häufig bei der Sektion zerstört wurde. Hier ergaben die Messungen zweimal 1,5 und einmal 2,3 cm². In Höhe des Axis ist der Querschnitt bei allen Individuen deutlich verringert. Die Extremwerte liegen bei 0,4 bzw. 1,0 cm² (arithmet. Mittel 0,7 cm²). Bei C3 nehmen die gemessenen Querschnittswerte wieder zu; dort schwanken sie von 0,8 bis 1,7 cm² (arithmet. Mittel 1,1 cm²), um dann von C4 an kontinuierlich abzunehmen. In Höhe des 4. Halswirbels wurden Werte von 1,2 bis 0,8 cm² (Mittelwert 0,9 cm²) gefunden. Ventral des 5. Halswirbels wurden zwischen 0,4 und 0,9 cm² gemessen (Mittelwert 0,7 cm²); bei C6 und kaudal liegt nur noch ein Meßwert vor, der mit 1,0 cm² ziemlich hoch liegt. Hier konnte der Muskel zumeist nur noch mit dem *M. longus colli* zusammen bestimmt werden.

M. longus colli (Tab. 2)

Der M. longus colli ist auf Höhe seines Ansatzes am Atlas relativ dünn; lediglich bei einem Individuum wurde er hier besonders kräftig ausgebildet vorgefunden und maß $2,2 \text{ cm}^2$. Ansonsten schwanken die Werte zwischen $0,8$ und $0,5 \text{ cm}^2$. Der mittlere Querschnitt ohne den Extremwert beträgt $0,7 \text{ cm}^2$. Die Schwankungen bei C2 waren relativ groß. Es wurden Werte zwischen $0,5$ und $2,1 \text{ cm}^2$ gemessen, und es ergab sich ein Mittelwert von $1,1 \text{ cm}^2$. Im Bereich des 3. Halswirbels nahmen die Querschnitte bis auf eine Ausnahme zu. Bei diesem einen abnehmenden Muskel wurden lediglich $0,6 \text{ cm}^2$ gemessen, während der obere Extremwert der anderen Messungen bei $2,1 \text{ cm}^2$ lag. Im Durchschnitt hatte der M. longus colli hier eine Fläche von $1,3 \text{ cm}^2$. Wiederum bis auf eine Ausnahme sanken die Querschnitte bei C4 ab; sie schwanken zwischen $1,4$ und $0,8 \text{ cm}^2$ bei einem Mittelwert von $1,2 \text{ cm}^2$. Diese Stärke behält der Muskel in etwa auch bei C5 bei, mit einer Schwankung von $1,9$ bis $0,8 \text{ cm}^2$ und einem Mittelwert von $1,2 \text{ cm}^2$. In Höhe des 6. Halswirbels liegt nur eine Messung von $1,2 \text{ cm}^2$ vor. Wie schon erwähnt, konnte der Muskel hier meist nur mit dem M. longus capitis zusammen bestimmt werden. Bei C7 nahm der Muskelquerschnitt schon deutlich ab. Es wurden hier nur noch Werte von $0,5$ bis $1,1 \text{ cm}^2$ gemessen, bei einem

Mittelwert von $0,9 \text{ cm}^2$. Auch auf der Höhe des 1. Brustwirbels war bei allen Messungen ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Es wurden Werte zwischen $0,2$ und $1,2 \text{ cm}^2$ gefunden; das arithmetrische Mittel ergab $0,7 \text{ cm}^2$. Am 2. Brustwirbel wurden bei einem Mittelwert von $0,4 \text{ cm}^2$ Werte von $0,1$ bis $1,0 \text{ cm}^2$ gemessen. Bei Thorakale 3 und 4 liegen nur noch zwei Meßwerte vor von $0,8$ bzw. $0,3 \text{ cm}^2$.

Der maximale Querschnitt des *M. longus colli* läßt sich nicht so eindeutig auf eine bestimmte Höhe lokalisieren, wie dies beim *M. longus capitis* möglich ist. Von den 14 bearbeiteten Wirbelsäulen konnte nur bei 12 ein maximaler Querschnitt lokalisiert werden. Hierbei wies je eine untersuchte Halswirbelsäule den größten Querschnitt bei C1 und C5 auf. Zweimal lag der maximale Querschnitt bei C2 und C4, sechsmal bei C3 (Fig. 1). Für alle diese Individuen wurde ein mittlerer Maximalwert von $1,43 \text{ cm}^2$ gemessen.

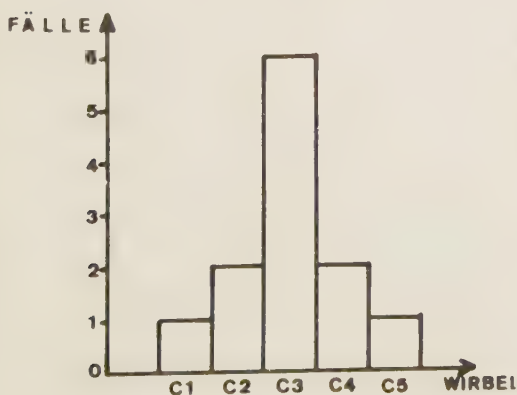


Fig. 1
Verteilung der maximalen Querschnitte des *M. longus colli* auf die verschiedenen Wirbelkörper bei 12 Halswirbelsäulen.

Gesamte prävertebrale Muskulatur (Tab. 3)

Es wurden nun aus den einzelnen Meßwerten die Querschnitte der gesamten prävertebralen Muskulatur errechnet. Da hier ausreichend viele Meßwerte vorliegen, genügt es, für jedes Halswirbelsäulensegment den errechneten Mittelwert anzugeben. Die Originalwerte sind aus Tab. 3 ersichtlich. Es zeigt sich, daß durch das Zusammenwirken der beiden Muskeln ein mehr kontinuierlicher Verlauf der Querschnitte gewährleistet wird. Dennoch lassen sich zwei "dickste Stellen" auffinden. Der eine Maximalwert liegt zwischen Hinterhaupt und dem 1. Halswirbel und beträgt $2,4 \text{ cm}^2$. Er entspricht in seiner Lage dem maximalen Querschnitt des M. longus capitis. Der Querschnitt nimmt dann bis zu den nächsten Halswirbeln kontinuierlich ab. Die gemessenen Werte betrugen 2 cm^2 für C1 und $1,7 \text{ cm}^2$ für C2. In Höhe des 3. Halswirbels wird von fast allen Individuen ein zweiter Spitzenwert erreicht. Der errechnete Mittelwert ergibt $2,2 \text{ cm}^2$. Die Lokalisation dieses 2. Maximalwertes fällt mit der Lage des größten Querschnitts des M. longus colli zusammen. Lediglich bei zwei Wirbelsäulen nimmt der Querschnitt im folgenden Verlauf noch etwas zu; meist ändert sich die Stärke des Muskels jedoch nicht. Bei C4 wurde ein Querschnitt von $1,8 \text{ cm}^2$, bei C5 von $1,7 \text{ cm}^2$ und bei C6 von $1,5 \text{ cm}^2$ gefunden. Die Querschnitts-

abnahme verläuft auch im folgenden kontinuierlich. Es wurden $1,0 \text{ cm}^2$ bei C7, $0,8 \text{ cm}^2$ bei Th1 und $0,5 \text{ cm}^2$ bei Th2 gemessen. Für den 3. und 4. Brustwirbel liegen nur noch zwei Meßwerte von $0,8$ bzw. $0,3 \text{ cm}^2$ vor.

Tab. 1: Querschnittswerte des M. longus capitis in den einzelnen Wirbelhöhen gemessen an 14 Wirbelsäulen in cm².

Alter und Geschlecht	Os occ.	C1	C2	C3	C4	C5	C6 ⁺	C7 ⁺
♀ 66			0,4	1,0				
♀ 69	2,7		0,8		0,8	0,6		
♂ 69	2,7			1,0		0,9		
♂ 72				0,8	1,0	0,7		
♂ 73	1,4		1,0			0,8	1,0	
♀ 74	3,3					0,6		
♀ 74	2,3							
♀ 76	3,0							
♀ 78	2,5	1,5	0,6			0,7		
♀ 78						0,4		
♂ 78	2,9	1,5						
♂ 81	1,7		0,8	1,7	1,2			
♂ 82	1,7		0,7		0,8	0,7		
♀ 82		2,3	0,8	0,8	1,0			
arith.Mitt.	2,4	1,8	0,7	1,1	1,0	0,7		

⁺ Hier waren nur Messungen mit dem M. longus colli zusammen möglich.

Tab. 2: Querschnittswerte des M. longus colli in den einzelnen Wirbelhöhen gemessen an 14 Wirbelsäulen in cm².

Alter und Geschlecht	C1	C2	C3	C4	C5	C6 ⁺	C7	Th1	Th2	Th3	Th4
♀ 66	0,8	0,9	0,6								
♀ 69		0,8		1,2	1,3			0,5			
♂ 69		2,0	2,1		1,0		0,8				
♂ 72	0,5		1,2	1,0	1,1			1,2	0,4		
♂ 73	(2,2)	2,1		1,3	1,9	1,2			1,0	0,8	0,3
♀ 74	0,7	0,9	1,2	1,1			1,0	0,8			
♀ 74	0,7						0,9	0,6	0,1		
♀ 76			1,2		1,1		1,1	0,8			
♀ 78		1,0		1,4							
♀ 78		1,4			0,8		0,5				
♂ 78				0,8				0,2	0,2		
♂ 81		0,8	1,6	1,4			1,1				
♂ 82		1,0	1,3	1,0	1,2			0,9	0,7		
♀ 82	0,8	0,5	1,2	1,4	1,2		0,8		0,2		
arithm. Mittelw.	0,7	1,1	1,3	1,2	1,2		0,9	0,7	0,4		

⁺ Hier waren nur Messungen mit dem M. longus capitis zusammen möglich (1 Ausnahme).

() Dieser Extremwert blieb bei der Berechnung des arithmetrischen Mittelwertes unberücksichtigt.

Tab. 3: Querschnittswerte der gesamten prävertebralen Muskulatur in den einzelnen Wirbelhöhen gemessen an 14 Wirbelsäulen in cm².

Alter und Geschlecht	Os occ.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Th1	Th2	Th3	Th4
♀ 66			1,3	1,6	0,7		1,3					
♀ 69	2,7		1,6	2,4	1,9	2,0	0,8		0,5			
♂ 69	2,7			3,2		1,9	1,6	0,8				
♂ 72				2,1	2,0	1,9	1,4		1,2	0,4		
♂ 73	1,4		3,1	2,5		2,7	2,2	1,8	1,8	1,0	0,8	0,
♀ 74	3,3						1,6	1,0	0,8			
♀ 74	2,3		0,9	0,8	1,0		0,9	0,9	0,6	0,1		
♀ 76	2,9					1,8		1,1	0,8			
♀ 78	2,5	1,5	1,5	1,7		1,8						
♀ 78				2,7	2,4	1,2	1,7	0,5				
♂ 78	2,9		1,9			0,9	1,2	1,1	0,2	0,2		
♂ 81	1,7	1,4	1,7	3,3	2,4	1,0		1,1				
♂ 82	1,7		1,7		1,8	1,8		1,5	0,9	0,7		
♀ 82		3,2	1,3	2,1	2,4		2,1	0,8		0,2		
arith. Mittelw.	2,4	2,0	1,7	2,2	1,8	1,7	1,5	1,0	0,8	0,5		

2.4.3 Zusammenfassende Diskussion

Die bestimmten Querschnittswerte sind alle etwas zu gering, da es sich - wie bereits erwähnt - bei allen Präparaten um Muskulatur handelt, die von Individuen stammt, die das 65. Lebensjahr bereits überschritten hatten. Daher muß man bei der Stärke der Muskulatur mit einer altersentsprechenden Atrophie rechnen. Würde man also jüngere Menschen untersuchen, so wären etwas höhere Werte zu erwarten.

Auch THEILE (1884), der bei Menschen verschiedenen Alters jeden einzelnen Muskel des Körpers gewogen hat, fand dabei an der prävertebralen Muskulatur von Greisen geringere Werte als für Menschen mittleren Lebensalters. Dies läßt sich direkt auf die Querschnitte übertragen, denn nach der obenerwähnten Formel $Q = P : l_s$ besteht zwischen dem Querschnitt und dem Gewicht eines Muskels eine direkte Proportionalität. SCHUMACHER und WOLFF (1966) weisen allerdings darauf hin, daß das absolute Gewicht und der absolute Querschnitt eines Muskels verschieden dimensionale Größen sind, die über den Grad der Fiederung und somit über den physiologischen Querschnitt keine Aussagen erlauben. Jedoch gilt dies nicht für den Vergleich verschiedener Gewichte des gleichen Muskels.

THEILE (1884), dessen Messungen wahrscheinlich nach ROESSLE und ROULET (1932) die genauesten vorliegenden Er-

gebnisse sind, gibt für den *M. longus capitis* eines 20-jährigen Mannes ein Gewicht von 5,3 g, für einen 42-jährigen ein Gewicht von 9,6 g und für einen Greis von 78 Jahren ein Gewicht von 4,3 g an. Der *M. longus colli* eines 20-jährigen Mannes wiegt bei THEILE 3,6 g, der eines 42-jährigen 7,5 g und der eines 78-jährigen Greises 5,0 g. Es wird also sehr deutlich, wie das Gewicht und damit auch der Querschnitt der prävertebralen Muskulatur im Mannesalter ansteigt, um dann im Alter wieder geringer zu werden. Das Gewicht des *M. longus capitis* nimmt vom 40. - 80. Lebensjahr etwa um 5,3 g ab und der *M. longus colli* etwa um 2,5 g. Überträgt man diese altersbedingten Abweichungen nun auf den Querschnitt, so darf man sagen, daß die erhaltenen Querschnittswerte der 14 hier bearbeiteten Wirbelsäulen auf das mittlere Mannesalter bezogen etwa 50 bis 100 % zu gering sind.

Bei THEILE (1884) ist die Muskulatur eines Mannes mittleren Alters etwas schwerer als die einer Frau in etwa demselben Alter. Der *M. longus capitis* eines Mannes im 4. bis 5. Dezennium wiegt 9,1 g, der einer gleichaltrigen Frau 6,3 g; der *M. longus colli* wiegt beim Mann 8,2 g, bei der Frau 6,5 g. Aber schon bei Eintritt in das Greisenalter verschwinden diese geschlechtsbedingten Unterschiede fast vollständig. So gibt THEILE (1884) als Ge-

wicht der gesamten prävertebralen Muskulatur für einen 65-jährigen Mann 12,1 g an, für eine 51-jährige Frau 13,3 g. Es ergibt sich kein wesentlicher Unterschied zwischen dem Gewicht des M. longus capitis und des M. longus colli.

Bei den durchgeführten Querschnittsmessungen ließ sich auch keine sichtbare Massendifferenz zwischen männlicher und weiblicher Muskulatur feststellen. Die zunächst unerklärlichen Querschnittsschwankungen, die sich bei allen Individuen gleichmäßig fanden, lassen sich aus dem Vergleich mit den makroskopischen Präparationsergebnissen erklären. So ist z.B. das Absinken des Querschnitts der gesamten prävertebralen Muskulatur auf einen Minimalwert in Höhe des 2. Halswirbels dadurch zu erklären, daß einerseits die Muskelfasern des M. longus capitis hier zugunsten einer breiten Sehnenplatte in den Hintergrund treten, während andererseits der M. longus colli mit seinem kranialen lateralen Bauch noch relativ schwach ausgebildet ist. Der maximale Querschnitt in Höhe von C3 hat sein anatomisches Substrat in der hier vorliegenden Faserdichte des M. longus capitis und in der Überlagerung des medialen und des kranialen lateralen Bauches des M. longus colli. Daß die Muskulatur im folgenden in etwa ihre Stärke behält, liegt daran, daß z.B. mit dem Ende des M. longus capitis neue

Fasern aus dem kaudalen lateralen Bauch des M. longus colli zum Querschnitt beitragen. Außerdem fällt auf, daß dort, wo der Muskelquerschnitt gering ist, auch die sagittale Beweglichkeit minimal ist, so z.B. zwischen dem 1. und 2. Halswirbel und von C7 ab kaudalwärts. Dagegen sind die gut beweglichen Gelenke wie das Atlanto-okzipital-Gelenk und das 2. - 5. Bewegungssegment der Halswirbelsäule (C3/C4 bis C6/C7), die eine Beweglichkeit von $15 - 20^{\circ}$ (GÜNTZ 1957) aufweisen, gut mit Muskulatur "verspannt".

2.5 Längenmessungen (Material und Methodik)

Zur Untersuchung gelangten 15 Wirbelsäulen (8 männliche, 7 weibliche). Davon entfielen eine auf das 6., drei auf das 7., sieben auf das 8. und vier auf das 9. Lebensjahrzehnt.

Nach Freipräparation von Ursprung und Ansatz des M. longus capitis und des M. longus colli wurde durch Auflegen eines Stahlmeßbandes die Länge dieser Muskeln gemessen. Bei 5 frischen Wirbelsäulen konnte noch die Längenänderung der prävertebralen Muskulatur bei maximaler Rückbeugung gemessen werden. Es wurde also der Kopf einmal in eine Anteflexionshaltung gebracht, ein anderes Mal in eine maximale Retroflexionsstellung.

2.6 Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Wirbelsäulen stammen wie erwähnt alle bis auf eine Ausnahme von Personen, die bereits das 6. Lebensjahrzehnt überschritten hatten.

M. longus capitis

Die Länge des M. longus capitis bei männlichen Individuen schwankt zwischen 10,5 und 17,0 cm, bei einer mittleren Länge von 12,6 cm. Die Messungen bei Frauen liegen zwischen 10,0 und 14,0 cm. Trennt man die erhaltenen Meßwerte nicht nach Geschlecht, so ergibt sich für den M. longus capitis eine mittlere Länge von 12,0 cm. Bei maximaler Retroflexion (5 Messungen) erfährt dieser Muskel eine Längenänderung zwischen 18 und 20 % seiner Länge bei maximaler Streckstellung der Halswirbelsäule. (Fig. 2)

M. longus colli

Bei Männern schwankt die Länge dieses Muskels von 12,5 bis 21,5 cm, bei einer mittleren Länge von 16,6 cm. Bei Frauen liegen die Extremwerte bei 12,5 und 17,0 cm, das arithmetrische Mittel ist 15,0 cm. Betrachtet man die einzelnen Meßwerte bei Männern und Frauen zusammen, so hat der M. longus colli eine mittlere Länge von 15,9 cm. Die Länge ändert sich bei maximaler Rückbeugung (5 Messungen) um 14 bis 16 % der gemessenen Ausgangslänge des Muskels. (Fig. 3)

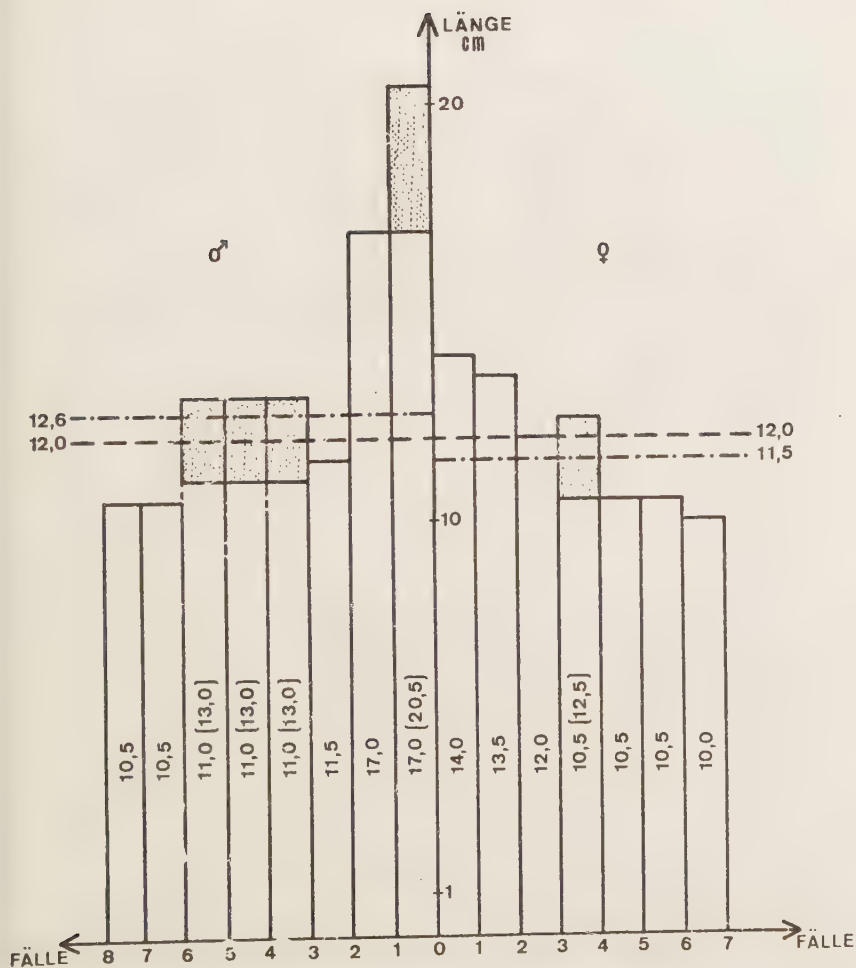


Fig. 2 Längenmessungen am *M. longus capitis* bei 15 Fällen.

-----: Mittelwert von ♂ und ♀ zusammen
 -.-.-.-: Mittelwert von ♂ bzw. ♀
 und (....): Längenänderung bei maximaler Retroflexion

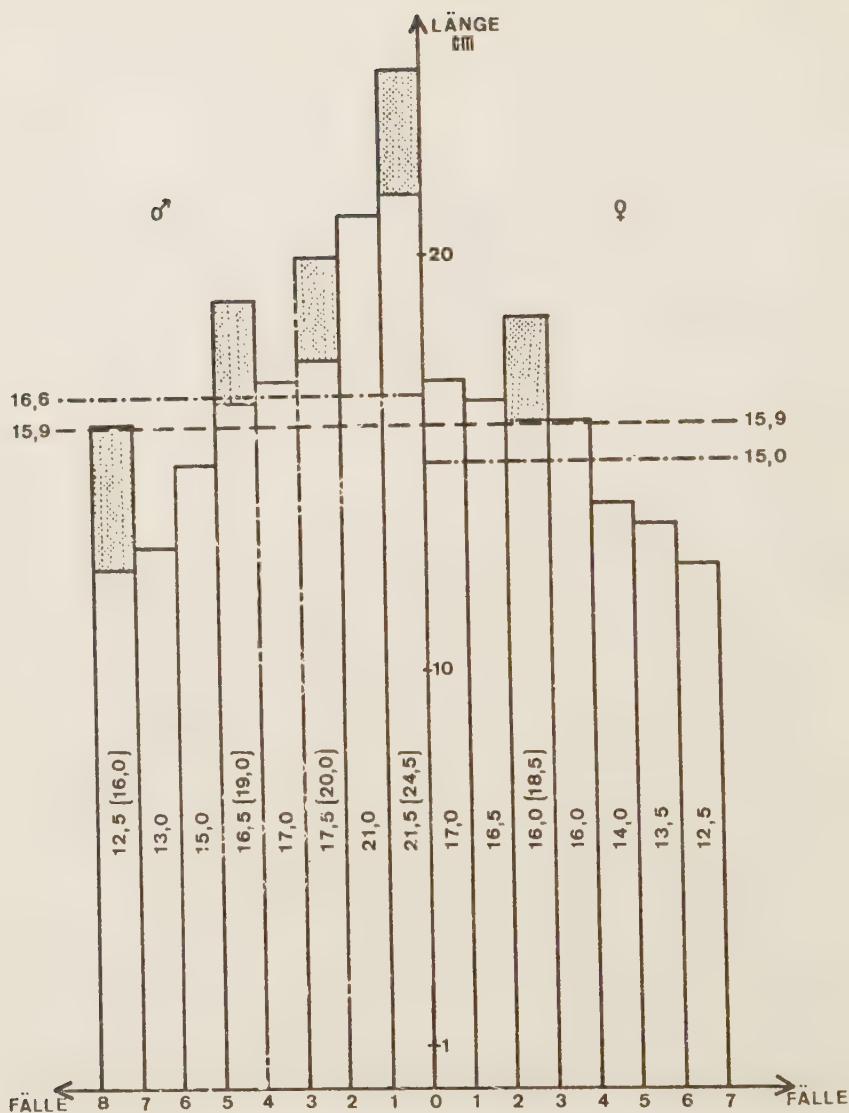


Fig. 3 Längenmessungen am M. longus colli bei 15 Fällen

- : Mittelwert von ♂ und ♀ zusammen
 -.-.-.-: Mittelwert von ♂ bzw. ♀
 [] und (....): Längenänderung bei maximaler Retraction

Sowohl bei den Ergebnissen für den *M. longus capitis* wie auch für den *M. longus colli* liegen die Mittelwerte der Muskellänge bei den Männern etwas höher als bei den Frauen.

Wie aus Fig. 2 und 3 ersichtlich ist, liegt die mittlere Länge der prävertebralen Muskeln aller Individuen, d.h. von Männern und Frauen zusammen, fast genau in der Mitte zwischen den arithmetrischen Mittelwerten der nach Geschlecht getrennten Individuen; man kann deshalb auch sagen, daß der *M. longus capitis* eine mittlere Länge von 12,0 cm und der *M. longus colli* eine mittlere Länge von 15,9 cm haben.

Daß der prozentuale Längenzuwachs bei maximaler Retroflexion der Halswirbelsäule beim *M. longus capitis* zwischen 18 und 20 %, beim *M. longus colli* nur zwischen 14 und 16 % schwankt, liegt an der großen Beweglichkeit in sagittaler Richtung im Atlanto-okzipital-Gelenk, von welcher der *M. longus colli* nicht betroffen wird.

Solche geringen Längenänderungen verletzen die prävertebralen Muskeln in keiner Weise, denn nach BLEICHERT (1962) kann Muskulatur etwa um 125 % der Standardlänge, die ein Muskel in situ einnimmt, experimentell gedehnt werden. Zu solch einer extremen Längenänderung wird es jedoch an der prävertebralen Muskulatur nur dann kommen,

wenn bereits der Bandapparat der Wirbelsäule und die Wirbelbögen zerstört sind, so daß die Halswirbelsäule eine abnorme Beweglichkeit erhält.

Die Längenänderungen, die hier pauschal bestimmt wurden, sind wegen der unterschiedlichen Bewegungswinkel in den einzelnen Bewegungssegmenten durchaus verschieden, so daß man sie eigentlich jeweils für die Strecke zwischen der Mitte zweier Wirbelkörper bestimmen müßte.

3. Zungenbeinmuskulatur

3.1 Allgemeines

Einen wesentlichen Einfluß auf die Hemmung der Rückbeugung in den Kopfgelenken haben auch die verschiedenen Muskeln, die allgemein als der kraniale Anteil der Zungenbeinmuskulatur bezeichnet werden. Es sind dies folgende Muskeln: M. stylohyoideus, M. mylohyoideus, M. geniohyoideus, M. digastricus.

Die kaudale Zungenbeinmuskulatur (M. sternohyoideus, M. sternothyreoideus, M. thyreohyoideus, M. omohyoideus) hat indirekt dieselbe Funktion, indem sie das Zungenbein feststellt und damit der kranialen Gruppe einen Widerhalt bietet. Außerdem kommt diesen Muskeln auch eine gewisse Fähigkeit zur Hemmung der Retroflexion der gesamten Halswirbelsäule zu, indem sie nämlich bei gleicher Verlaufsrichtung wie die prävertebrale Muskulatur ventral von dieser liegt.

Der M. sternocleidomastoideus wurde nicht in die Betrachtung mitaufgenommen, weil seine Wirkung auf die Kopfgelenke so ist, daß er bei beidseitiger Innervation den Kopf gerade nach rückwärts zieht, anstatt eine Rückbeugung zu verhindern. Die Bezeichnung "Kopfnicker" ist also irreführend, denn der Ansatz dieses Muskels liegt dorsal von den kondylären Drehpunkten des Kopfes (TARRIERE und SAPIN 1969).

Anders ist die Wirkung auf die Halswirbelsäule. Bei maximaler Kontraktion des Muskels kann dadurch der Kopf nach vorwärts-abwärts gezogen werden, so daß durch ihn die Biegung der Nackenwirbelsäule umgekehrt wird (LUSCHKA 1862). Die kaudalen Halswirbel werden gebeugt, die kranialen gestreckt (SOBOTTA-BECHER 1957).

3.2 Querschnittsmessungen (Material und Methodik)

Die Querschnitte der Zungenbeinmuskulatur wurden an 23 Leichen aus dem Präparierkurs gemessen. Es handelte sich dabei um 12 männliche und 11 weibliche Individuen, die alle zwischen 60 und 90 Jahre alt waren.

In Anlehnung an die von BUCHNER (1877) beschriebene Methode wurden die platten Zungenbeinmuskeln an ihrer Auflagefläche mobilisiert und senkrecht zum Faserverlauf in eine graduierte Schublehre gepreßt, so daß sie Rechteckform annahmen. Auf diese Weise wurde der jeweils größte Muskelquerschnitt ermittelt.

Auf die Nachteile und Fehlerquellen der hier verwendeten Methode wurde schon oben im Kapitel 2.2 hingewiesen.

3.3 Ergebnisse und Diskussion⁴

An den 23 Leichen, an denen die Messungen vorgenommen wurden, ließen sich nicht immer alle Muskelquerschnitte bestimmen. Aus diesem Grunde variiert die Zahl der Messungen bei den verschiedenen Muskeln. Bei dem gesamten Material war es unmöglich, den größten Muskelquerschnitt des M. geniohyoideus und des M. stylohyoideus zu bestimmen. Nicht berücksichtigt wurden die Ergebnisse, bei denen nur der Querschnitt des linken oder des rechten Muskelbauches gemessen werden konnte.

Vergleicht man die Meßergebnisse auf der rechten und auf der linken Seite, so ergeben sich sowohl bei männlichen wie auch bei weiblichen Individuen keine regelmäßigen Seitenunterschiede.

Bei der Berechnung der mittleren maximalen Querschnittswerte der einzelnen Muskeln (Tab. 4) fällt auf, daß alle Werte der Frauen beträchtlich unter denen der Männer liegen, und zwar um 20 bis 40 %.

Für den M. sternohyoideus ergab sich bei 12 Messungen an männlichen Individuen ein mittlerer maximaler Querschnitt von 69 mm^2 , bei 10 Messungen an weiblichen Individuen ein Wert von 55 mm^2 . Bei Männern streuten die Meßwer-

⁴ Sämtliche Einzelmeßwerte sind im Anhang aus Tab. IIA - IIQ ersichtlich.

te für diesen Muskel von $46 - 87 \text{ mm}^2$, bei Frauen von $31 - 84 \text{ mm}^2$. Der M. sternothyreoideus wurde an 11 männlichen und an 7 weiblichen Leichen gemessen. Für Männer ergab sich ein mittlerer maximaler Querschnitt von 64 mm^2 mit einer Streuung von $21 - 105 \text{ mm}^2$; für Frauen betrug der Mittelwert 44 mm^2 bei Werten zwischen 25 und 76 mm^2 . Der M. thyreochoideus wurde ebenfalls an 11 männlichen und an 7 weiblichen Individuen bestimmt. Der Mittelwert bei Männern betrug 76 mm^2 und streute von 67 bis 97 mm^2 , der bei Frauen betrug 45 mm^2 und streute von $33 - 78 \text{ mm}^2$. Der venter superior des M. omohyoideus wurde an 9 männlichen und an 6 weiblichen Leichen, der venter inferior an 8 männlichen und an 4 weiblichen Leichen gemessen. Bei Männern wurde für den venter superior ein mittlerer maximaler Querschnitt von 74 mm^2 (Streuung: $40 - 113 \text{ mm}^2$) gemessen, für den venter inferior 51 mm^2 (Streuung: $22 - 82 \text{ mm}^2$). Auch bei den Frauen lag der Wert des mittleren maximalen Querschnitts des venter superior mit 51 mm^2 (Streuung: $28 - 76 \text{ mm}^2$) bedeutend über dem des venter inferior. Der Mittelwert für diesen Muskelbauch betrug 39 mm^2 bei einer Streuung von $20 - 54 \text{ mm}^2$. Als recht kräftig erwies sich der venter anterior des M. digastricus, der bei Männern 120 mm^2 , bei Frauen 81 mm^2 als Mittelwert für den maximalen Querschnitt ergab. Bei männlichen Individuen streuten

die Meßwerte von $66 - 164 \text{ mm}^2$, bei weiblichen Individuen von $58 - 116 \text{ mm}^2$. Die Messungen für diesen Muskelbauch wurden sowohl an 11 männlichen wie an 11 weiblichen Leichen durchgeführt. Der venter posterior dieses Muskels konnte nur bei 6 Männern und nur bei 2 Frauen gemessen werden. Die Werte für männliche Individuen lagen zwischen 34 und 98 mm^2 bei einem mittleren maximalen Querschnitt von 63 mm^2 ; die Werte bei den 2 weiblichen Individuen betrugen 40 und 54 mm^2 . Der M. mylohyoideus, welcher in der Hauptsache den Boden der Mundhöhle ausmacht, verfügt über einen entsprechend kräftigen Querschnitt; und zwar ergaben 8 Messungen an männlichen Individuen einen mittleren maximalen Querschnitt von 336 mm^2 bei einer Streuung von $212 - 464 \text{ mm}^2$. Die drei Meßwerte bei weiblichen Individuen lagen zwischen 146 und 302 mm^2 bei einem Mittelwert von 216 mm^2 .

Die funktionelle Bedeutung des M. mylohyoideus scheint weniger in der räumlichen Veränderung der Skeletteile, zwischen denen er ausgespannt ist, zu bestehen, als darin, daß er beim Kauen, Schlucken und Sprechen den zum aktiven Widerstand fähigen Boden der Mundhöhle darstellt (LUSCHKA 1862).

Wie schon bei der prävertebralen Muskulatur erwähnt, so müssen auch die hier gemessenen Muskelquerschnitte wegen des relativ hohen Alters der Individuen als zu niedrig an-

gesehen werden.

Bei THEILE (1884) sind in seiner bereits erwähnten Arbeit die Gewichte der Zungenbeinmuskulatur bei männlichen Individuen größer als bei weiblichen Individuen vergleichbaren Alters (65 Jahre, 51 Jahre). Es ist nicht anzunehmen, daß dieser Gewichtsunterschied nur auf einen eventuellen Längenunterschied der Zungenbeinmuskulatur zurückzuführen ist, da ein solcher zwischen Männern und Frauen wahrscheinlich sehr klein ist. Es finden sich also bei der Zungenbeinmuskulatur im Gegensatz zur prävertebralen Muskulatur noch beim Eintritt in das Greisenalter und im Greisenalter selbst noch geschlechtsbedingte Unterschiede.

M. sternohyoideus, M. sternothyreoideus, M. thyreochoideus und M. omohyoideus, die - wie oben erwähnt - als kaudale Zungenbeinmuskulatur zusammengefaßt werden, können wegen ihres annähernd parallelen Verlaufs (Ausnahme: M. omohyoideus v. inferior) auch querschnittsmäßig zusammengefaßt werden. Somit ergibt sich also für die gesamte kaudale Zungenbeinmuskulatur ohne den M. omohyoideus venter inferior ein mittlerer maximaler Querschnitt bei Männern von 283 mm^2 und bei Frauen von 195 mm^2 . Es soll nochmals betont werden, daß der venter inferior des M. omohyoideus, obwohl er auch zu der kaudalen Zungenbeinmuskulatur

latur gehört, nicht in den Gesamtquerschnitt mit einbezogen werden kann, da er einen anderen Faserverlauf aufweist.

Für die oberen Zungenbeinmuskeln ist eine solche Zusammenfassung nicht ohne weiteres möglich, weil sie in ihrer Faserrichtung erheblich divergieren. Lediglich der M. stylohyoideus und der M. digastricus venter posterior könnten zusammengefaßt werden, jedoch konnte bei dem vorgegebenen Material der M. stylohyoideus nicht bestimmt werden.

Wegen der großen Streuung der einzelnen Ergebnisse bei geringer Fallzahl handelt es sich bei den errechneten Mittelwerten im statistischen Sinn eigentlich nur um Schätzungen. Dies ist bei der praktischen Anwendung dieser Werte zu berücksichtigen.

Tabelle 4: Mittlere maximale Querschnittswerte der
Zungenbeinmuskulatur in mm² gemessen an
23 Leichen.

	MÄNNER (Streuung)	FRAUEN (Streuung)	Unterschied der Querschnittsgröße bei Männern und Frauen (in %)
M.sternohyoideus	69 (46- 87)	55 (31- 84)	20 %
M.sternothyreoid.	64 (21-105)	44 (25- 76)	31 %
M.thyreohyoideus	76 (67- 97)	45 (33- 78)	40 %
M.omohyoideus			
venter sup.	74 (40-113)	51 (28- 76)	31 %
venter inf.	51 (22- 82)	39 (20- 54)	24 %
M.digastricus			
venter ant.	120 (66-164)	81 (58-116)	32 %
venter post.	63 (34- 98)	46 (40- 54)	26 %
M.mylohyoideus	336 (212-464)	216 (146-302)	36 %

3.4 Längenmessungen (Material und Methodik)

Die Meßwerte wurden wie folgt gewonnen:

An 12 männlichen und an 11 weiblichen Leichen aus dem Präparierkurs wurden - soweit noch möglich - Ursprung und Ansatz der Zungenbeinmuskeln freipräpariert. Durch Auflegen eines Stahlmeßbandes wurde die Länge der einzelnen Zungenbeinmuskeln von Ursprung bis Ansatz in mittlerer Kopfstellung gemessen. Da alle diese Muskeln symmetrisch vorhanden sind, konnte man also maximal an 23 Leichen pro Muskel 46 Längenmessungen durchführen. Es handelte sich um dasselbe alte Material, das auch zu den Querschnittsmessungen an der Zungenbeinmuskulatur verwandt wurde, also waren wieder alle Leichen im Alter von 60 bis 90 Jahren.

3.5 Ergebnisse und Diskussion⁵

Die Länge des M. sternohyoideus (Tab. 5) lag bei Männern bei einem Mittelwert von 10,4 cm. Von den 24 vorliegenden Meßergebnissen lagen 14 in dem Bereich zwischen 10,0 und 11,0 cm, ein Maximalwert lag bei 13,0 cm, ein Minimalwert bei 6,0 cm. Derselbe Muskel hatte bei den Frauen eine mittlere Länge von 9,9 cm. Bei ihnen wurden 20 Messungen durchgeführt, wovon 7 im Bereich zwischen 9,5 und 10,5 cm lagen; eine Messung wies eine maximale Länge von 13,0 cm und eine minimale Länge von 7,0 cm auf.

Beim M. sternothyreoideus männlicher Individuen lagen 15 der 22 Meßwerte zwischen 6,0 und 7,0 cm bei einem Mittelwert von 6,4 cm. Es wurde zweimal die kleinste Länge von 4,0 cm und einmal die größte von 10,0 cm gemessen. Die mittlere Länge des M. sternothyreoideus weiblicher Individuen lag mit 6,8 cm etwas höher als der bei männlichen Individuen. Jedoch fand man in der Gruppe der Frauen nur 5 der 15 Meßergebnisse zwischen 6,0 und 7,0 cm, also im Bereich um den Mittelwert. Die restlichen Werte streuten von 4,5 bis 9,5 cm.

Als mittlere Länge des M. thyreo-hyoideus wurde für Männer aus 20 vorgenommenen Messungen ein Wert von 4,0 cm

⁵ Sämtliche Einzelmeßwerte sind im Anhang aus Tab. IIA - IIQ ersichtlich.

bestimmt, wobei 17 Messungen zwischen 3,5 und 4,5 cm lagen. 3,5 cm war schon der Minimalwert, 5,0 cm der Maximalwert. Auch bei den weiblichen Individuen lagen die meisten Werte, nämlich 12 von 15, im Bereich der mittleren Länge von 3,5 cm. Der längste Muskel wurde hier mit 5,0 cm, der kürzeste mit 2,5 cm gemessen.

Der venter superior des M. omohyoideus wurde bei Männern 17-mal, bei Frauen 15-mal gemessen. Die 17 Messungen ergaben eine mittlere Länge von 7,5 cm, mit einer Streuung von 5,5 bis 10,0 cm. Es lag aber die Hälfte der Meßwerte zwischen 7,0 und 8,0 cm. Bei den Frauen ergab sich aus den Messungen eine mittlere Länge von 7,2 cm. 9 Meßwerte befanden sich in dem Bereich zwischen 6,5 und 7,5 cm. Die Werte streuten hier von 5,5 bis 10,0 cm Länge.

Die mittlere Länge des venter inferior des M. omohyoideus war bei den Frauen mit 6,2 cm praktisch nicht höher als bei den Männern (6,0 cm). Bei den männlichen Individuen streuten diese Werte zwischen 3,0 und 9,0 cm ziemlich stark. Es lagen hier auch nur 3 von 17 Meßwerten zwischen 5,5 und 6,5 cm, also im Bereich um den errechneten Mittelwert. Bei den Frauen lagen jedoch 5 von 9 Meßwerten bei 6,0 cm; die restlichen Messungen ergaben eine geringste Länge von 5,0 und eine größte Länge von 8,0 cm.

Bei 23 Messungen am M. digastricus venter anterior

an männlichen Leichen wurde eine mittlere Länge von 4,3 cm ermittelt; dabei lagen 19 Meßwerte zwischen 4,0 und 5,0 cm. Alle Werte befanden sich bei diesen Messungen im Bereich von 3,0 bis 5,0 cm. Bei den weiblichen Leichen wurden 22 Messungen durchgeführt, wobei sich eine mittlere Länge von 4,5 cm ergab. 14 Meßwerte lagen zwischen 4,0 und 5,0 cm. Die größte Länge betrug hier 6,0, die kleinste 3,0 cm.

Für den *venter posterior* dieses Muskels ließen sich an männlichen Individuen 17 Ergebnisse bestimmen, mit einer mittleren Länge von 7,1 cm. 12 Werte waren zwischen 6,5 und 7,5 cm zu finden; der kürzeste Muskel wurde mit 6,0, der längste mit 8,0 cm bestimmt. Bei weiblichen Individuen war dieser Muskel mit 6,2 cm bedeutend kürzer als bei männlichen. Von den 7 durchgeführten Messungen lagen 5 zwischen 6,0 und 6,5 cm, die restlichen 2 Werte bildeten den Maximal- bzw. Minimalwert von 7,0 und 5,0 cm.

Alle 16 durchgeführten Messungen lagen beim *M. mylohyoideus* der Männer im Bereich zwischen 3,0 und 4,0 cm, bei einer mittleren Länge von 3,8 cm. Auch bei den Frauen befanden sich alle 6 Meßergebnisse zwischen 3,0 und 4,0 cm, bei einer mittleren Länge von 3,4 cm.

Auch bei den Längenmessungen an der Zungenbeinmuskulatur konnte die Länge des *M. geniohyoideus* und des

M. stylohyoideus aus Materialgründen und wegen technischer Schwierigkeiten (Muskeln waren schlecht zugänglich) nicht ermittelt werden.

Wie schon erwähnt und aus Gründen der Symmetrie auch erwartet, waren keine regelmäßigen Seitendifferenzen in Bezug auf die Länge der Zungenbeinmuskeln festzustellen.

Bei den verschiedenen Muskelarten, deren Länge gemessen wurde, liegen bei 5 die Werte männlicher Individuen höher als die weiblicher Individuen. Nur der M. sternothyreoideus, der venter inferior des M. omohyoideus und der M. digastricus venter anterior der Frauen weisen eine etwas größere mittlere Länge auf als bei den Männern. Betrachtet man die Tabellen IIC,D,J,K,L,M im Anhang, so lassen sich die Werte dieser drei Muskeln eventuell durch eine bestimmte Meßungenauigkeit erklären: Beim M. sternothyreoideus weiblicher Individuen liegen wie erwähnt nur 5 der 15 Meßwerte im näheren Bereich um den errechneten Mittelwert. Sie weisen eine nicht unerhebliche Streuung auf. Von den 19 am venter inferior des M. omohyoideus männlicher Leichen bestimmten Meßwerten liegen sogar nur 3 im Bereich um die mittlere Länge des Muskels. Auch diese Werte streuen ziemlich stark. Nur für den bei Frauen stärkeren venter anterior des M. digastricus läßt sich aus den Tabellen keine Erklärung finden. Diese Werte weisen nur

eine geringe Streuung auf.

Die Zungenbeinmuskulatur ist offenbar bei männlichen Individuen etwas länger als bei weiblichen. Der Längenunterschied der Zungenbeinmuskeln bei beiden Geschlechtern ist jedoch mit etwa 0,3 bis 0,5 cm gering. Nur der venter posterior des M. digastricus männlicher Individuen ist mit 7,1 cm um 0,9 cm länger als derselbe Muskel bei weiblichen Individuen.

Tabelle 5: Mittlere Länge der Zungenbeinmuskulatur in cm
gemessen an 23 Leichen.

	MÄNNER	FRAUEN
M.sternchyoideus	10,4 cm	9,9 cm
M.sternothyreoideus	6,4 cm	6,8 cm
M.thyreohyoideus	4,0 cm	3,5 cm
M.omohyoideus		
venter sup.	7,5 cm	7,2 cm
venter inf.	6,0 cm	6,2 cm
M.digastricus		
venter ant.	4,3 cm	4,5 cm
venter post.	7,1 cm	6,2 cm
M.mylohyoideus	3,8 cm	3,4 cm

4. Biomechanik

4.1 Allgemeines

Die bisher bestimmten Muskelquerschnitte sollen dazu dienen, einen Teil der Kräfte, welche die Rückbeugung der Halswirbelsäule und des Kopfes hemmen, zu bestimmen. Eine solche Bewegungshemmung im Bereich der Wirbelsäule geschieht nach FICK (1910, 1911) auf zweierlei Weise: Zum Einen besteht eine absolute Hemmung durch die "Ineinanderschachtelung der Wirbel und ihrer Fortsätze, namentlich der Dorn- und Gelenkfortsätze", und zum Zweiten besteht eine relative Bewegungseinschränkung durch Weichteile. Hiervon blieben zwei Komponenten unberücksichtigt, nämlich die Bänderhemmung und die Bewegungseinschränkung durch benachbarte Körperteile. Die Bewegungsminderung aufgrund muskulärer Kräfte ist wegen ihrer Variabilität besonders wichtig. Durch den muskulären Tonus wird nämlich das labile System "Kopf-Halswirbelsäule" wie durch "Gummibänder" (HADLEY 1964) im Gleichgewicht gehalten. Dieses Gleichgewicht kann bei bestimmten Verletzungsmechanismen leicht durchbrochen werden, wenn nämlich, wie z.B. beim Schleudert trauma, ein Fahrzeug unerwartet von hinten durch einen "Stoß" getroffen wird. Die hierbei auftretenden Kräfte sind erheblich. Nach GÖGLER (1961) wirken bei einem Frontalanprall mit 50 km/h ungefähr 200 g auf die Fahrzeug-

insassen, d.h. die einwirkenden Kräfte betragen das 200-fache des Eigengewichts. Andere Versuche, bei denen die Beschleunigung des Kopfes direkt gemessen wurde, führten SEVERY (1955) und KULOWSKI (1960) durch. Die Ergebnisse bei KULOWSKI ergaben Toleranzen gegenüber der Verzögerung in horizontaler Richtung von 45 g bis zu 0,06 sec, die von Freiwilligen ohne Schaden überstanden wurden.

Verschiedentlich ist mit anthropometrischen Puppen, sogenannten Dummies, der Versuch gemacht worden, solche Auffahrunfälle zu simulieren (GÖGLER 1962, FABRICIUS 1969). Diese Versuche machte ZABOROWSKI (1966) mit Menschen, brach jedoch seine Experimente bei einer Beschleunigung von 9,0 g nach 0,3 sec ab, um die Freiwilligen nicht zu gefährden. KAMEO IKEDA und NOBUYA SAKURADA (1969) verwendeten für ihre Versuche Rhesus-Affen, deren sofortiger Tod bei einer Beschleunigung von 130 g durch Dislokation zwischen Atlas und Okziput eintrat.

Außerdem liegen einige Vorschläge für mathematische Modelle des Systems Kopf-Halswirbelsäule vor (MARTINEZ und GARCIA 1968, TARRIERE und SAPIN 1969, FABRICIUS 1969). Es gilt jedoch für die Versuche mit den Dummies wie auch für die theoretischen Modelle die Einschränkung, daß das mechanische Verhalten der beteiligten Gewebe außerordentlich schwer vorauszusagen ist. Eine weitere

Schwierigkeit bildet auch die Tatsache, daß an der Gliederkette, die die Halswirbelsäule darstellt, die Schwerachsen der Wirbelkörper gegeneinander versetzt sind. So ändert sich von Wirbelkörper zu Wirbelkörper der Hebelarm der Normalkraft und das Drehmoment (STROHAL 1957). Die besten Voraussetzungen für eine naturgetreue Simulation von Auffahrunfällen bieten deshalb noch Versuche mit Leichen, wie sie von GERSHON-COHEN u.a. (1954), FIALA, CLEMENS und BUROW (1970), HINZ, COERMANN und LANGE (1969) durchgeführt wurden. Jedoch bleiben auch hier die muskulären Widerstände unberücksichtigt, so daß es lohnend erscheint, diese Kräfte durch Messungen an der Leiche zu bestimmen.

Um aus den Muskelquerschnitten einen Wirkungsgrad zu berechnen, wurden für das Scharniergelenk zwischen Atlas und Hinterhaupt die Hebelarme bestimmt, d.h. einerseits die Strecke zwischen dem Drehpunkt und dem Schwerpunkt des Kopfes und andererseits die Länge des Lots vom Drehpunkt auf die Faserrichtung der prävertebralen Muskulatur und der oberen Zungenbeinmuskeln (vgl. Fig. 6 in 4.2.3).

4.2 Retroflexion im Atlanto-okzipital-Gelenk

4.2.1 Drehpunkt-Schwerpunkt

Material und Methodik

Der Abstand des Schwerpunkts vom Drehpunkt wurde an 18 noch unbearbeiteten Köpfen aus dem Präparierkurs für Zahnmediziner bestimmt. Es handelte sich dabei um die Köpfe von 6 männlichen und 12 weiblichen Leichen.

Bei dem vorliegenden Material wurden jeweils beide proc. mastoidei aufgesucht und deren kaudal-ventrale Begrenzung markiert, da sie die äußere Projektion der Drehachse des Kopfes darstellt. Zwischen diesen beiden Punkten wurde parallel zur Schädellängsachse über den Scheitel hinweg ein schmales Band gespannt (Fig. 4). Der Kopf wurde genau im Schnittpunkt dieser Linie mit der mittleren Sagittalebene aufgehängt und danach, wenn nötig, die Lage des Bandes so korrigiert, daß der Kopf genau im Gleichgewicht hing. Dieser Schnittpunkt wurde ebenfalls markiert. In diesem Aufhängungspunkt wurde ein Ballastgewicht entsprechend der Zahl der verbliebenen Wirbelkörper angebracht. Die Größe des jeweiligen Ballastgewichtes wurde durch Wiegen entsprechender Halsquerschnitte aus früheren Versuchen bestimmt.

Auf der durch das Band markierten Strecke Mastoid-Scheitelpunkt wird der Kopf in einem Punkt auf der Höhe

der oberen Anwuchsstelle der Ohrmuschel aufgehängt. Der Aufhängungspunkt wurde - falls nötig - solange auf der markierten Strecke verschoben, bis der Kopf genau waage-
recht hing.

Die Entfernung der horizontal gelegenen Drehachse des Kopfes (ventral-kaudale Begrenzung der proc. mastoidei) vom ersten Aufhängungspunkt entspricht der Entfernung Drehpunkt-Scheitelpunkt, und der Abstand der proc. mastoidei vom zweiten Aufhängungspunkt entspricht dem Abstand des Drehpunkts vom Schwerpunkt des Kopfes (Fig. 4).

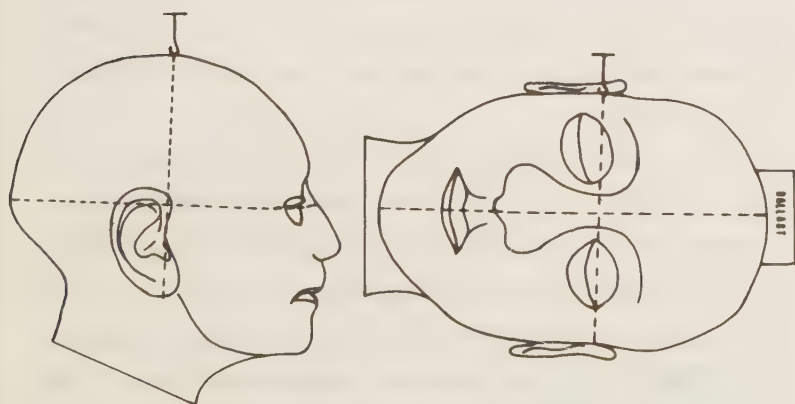


Fig. 4 Schwerpunktsbestimmung mit 2-Punkte-Aufhängung in horizontaler und vertikaler Position (siehe Text).

Ergebnisse und Diskussion

Wie aus Tab. 6 ersichtlich ist, beträgt der Abstand Drehpunkt-Schwerpunkt bei den untersuchten Köpfen männlicher Leichen im Durchschnitt 5,4 cm, bei einer Schwankung von 4,2 bis 6,5 cm, und bei den Köpfen weiblicher Leichen 5,6 cm mit Werten von 4,5 bis 6,2 cm.

Der Abstand des Drehpunktes des Kopfes vom Scheitelpunkt schwankt bei Männern zwischen 14,5 und 18,0 cm bei einem Mittelwert von 16,6 cm. Bei Frauen beträgt dieser Abstand im Durchschnitt 15,6 cm und liegt mit den einzelnen Messungen in dem Bereich von 14,5 bis 17,0 cm.

Die Meßunterschiede zwischen beiden Geschlechtern können vernachlässigt werden, da die Differenzen der Mittelwerte recht gering sind und außerdem nur 18 Meßergebnisse vorliegen.

Die äußere Projektion des Schwerpunkts des Kopfes liegt direkt über den Okzipitalkondylen (HADLEY 1964), etwa an der Grenze zwischen dem kaudalen Schädel Drittel und den kranial gelegenen Zweidrittel und etwa in Höhe des oberen Ansatzes der Ohrmuschel. Der wirkliche Schwerpunkt liegt in der mittleren Sagittalebene senkrecht über der Achse, die durch beide Drehpunkte des Kopfes geht.

Bereits 1860 bestimmte HARLESS mit der Balanciermethode die Schwerpunktslagen einzelner Körperabschnitte.

Für den Abstand Scheitelpunkt - Schwerpunkt des Kopfes erhielt er einen Wert von 7,7 cm. Dieser Wert liegt 2,9 cm unter dem hier bestimmten Mittelwert. Das Ergebnis von HARLESS ist aber sehr unzuverlässig, da er diese Strecke nur an einer Leiche untersuchte.

In seiner Arbeit 1966 untersucht NAAB die Lage des Schwerpunkts des Kopfes mit drei Halswirbeln bei "50 %-Dummies". Er gibt den Abstand dieses Schwerpunkts vom Scheitel mit 15,2 cm an. Aus den an Leichenköpfen ohne Halswirbel vorgenommenen Messungen wurde für diese Strecke eine mittlere Länge von 10,6 cm ermittelt. Ob die Differenz von 4,6 cm nur durch das Gegengewicht der drei Halswirbel bewirkt wurde, oder ob der Schwerpunkt bei den Dummies tatsächlich zu niedrig liegt, kann hier nicht nachgeprüft werden.

Das Kopfgewicht der "Dummies", das von NAAB (1966) zusammen mit drei Halswirbeln mit 5,3 kg angegeben wird, ist sicher etwas zu hoch. HARLESS (1860) wog die Köpfe von zwei Enthaupteten und gibt dabei Werte von 4,6 kg und 3,7 kg an. BRAUNE und FISCHER (1889) wogen drei Köpfe. Bei 2 Kopfwägungen ohne Halsanteile ergaben sich Werte von 4,0 kg und 3,9 kg. Bei einer Messung wurde der Kopf mit dem Hals gewogen und ergab ein Gewicht von 5,3 kg. Wie auch HERTZBERG (1969) schreibt, läßt sich aus diesen

von HARLESS und von BRAUNE und FISCHER ermittelten Ergebnissen kein mittlerer Wert für das Gewicht des Kopfes aufstellen, denn es sind nur 4 Meßwerte und ein Schätzwert vorhanden.

Die aus einer Vielzahl von Messungen ermittelten Ergebnisse von CLEMENS⁶ (1969), der Köpfe mit Zunge, oberer Zungenbeinmuskulatur, Unterkiefer und Zähnen wog, ergaben ein mittleres Kopfgewicht von 3,5 bis 4,0 kg, welches also etwas niedriger liegt als die bisher veröffentlichten.

Eigene Wägungen von 4 Halswirbeln mit den umgebenden Weichteilen ergaben ein Gewicht von 540 g. In Anlehnung an diesen Wert wurde das oben erwähnte Ballastgewicht gewählt.

⁶ unveröffentlichte mündliche Mitteilung

Tabelle 6: Abstand des Drehpunkts des Kopfes vom Schwerpunkt und vom Scheitelpunkt des Kopfes in cm.

1. MÄNNER:	Drehpkt-Schwerpkt	Drehpkt-Scheitelpkt
	5,5	17,5
	5,0	15,5
	4,2	14,5
	5,0	16,5
	6,5	17,5
	6,5	18,0
Mittelwert	<u>5,4</u>	<u>16,6</u>

2. FRAUEN:	Drehpkt-Schwerpkt	Drehpkt-Scheitelpkt
	6,0	15,5
	4,5	15,5
	5,3	14,5
	5,5	16,2
	4,8	14,7
	5,8	17,0
	6,2	16,0
	6,0	16,0
	5,8	15,0
	5,0	17,0
	5,5	14,5
	6,5	16,0
Mittelwert	<u>5,6</u>	<u>15,6</u>

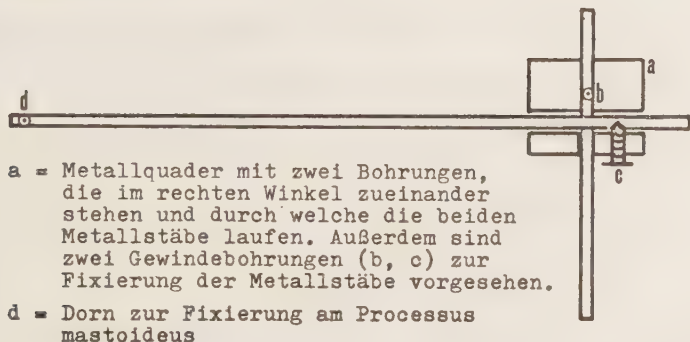
4.2.2 Messungen des Lotes vom Drehpunkt auf die Faserrichtung des M. longus capitis und der oberen Zungenbeinmuskulatur

Zur Bestimmung des Lotes auf die Faserrichtung des M. longus capitis wurde folgende einfache Methode angewandt: An allen 14 Schnittpräparaten, die oben schon zur Bestimmung der Muskelquerschnitte verwandt wurden, wurde mit einem rechtwinkligen Dreieck das Lot vom Kopfdrehpunkt (Spitzen der condyles occipitales) auf die Faserrichtung des M. longus capitis gefällt. Die Strecke wurde jeweils bis zur Mitte des Muskelbauches gemessen. Dabei ergab sich mit geringen Abweichungen der Mittelwert von 1,5 cm.

Zur Messung der gleichen Strecke bei den kranialen Zungenbeinmuskeln wurde eine andere Methode verwandt. Es wurde zu diesem Zweck ein Instrument konstruiert (Fig. 5), das aus zwei dünnen Metallstäben besteht, welche im rechten Winkel miteinander verbunden sind, wobei die Stäbe auch rechtwinklig gegeneinander verschieblich sind. An dem einen Stabende befindet sich eine Metallspitze, die am vorderen kaudalen Rand des processus mastoideus eingestochen wird. Jetzt wird der auf diesem so fixierten Stab senkrecht stehende Schenkel solange verschoben, bis er genau parallel zu der Faserrichtung des untersuchten Muskels verläuft. Die Strecke des Lotes ist dann der Abstand zwischen

der Metallspitze und dem senkrecht stehenden Stab.

Fig. 5



Diese Messungen wurden an allen 23 Leichen auf der rechten und auf der linken Seite durchgeführt. Es waren dieselben Leichen, an denen zuvor auch schon die Querschnitte der Zungenbeinmuskeln bestimmt worden waren.

Die Messungen an den 12 männlichen Leichen ergaben als mittleren Wert auf der rechten Seite, wie aus Tab. 7 ersichtlich, eine Lotlänge von 3,3 cm, auf der linken Seite von 3,2 cm. Die Einzelwerte schwanken zwischen 2,0 und 4,9 cm. Die Ergebnisse bei den untersuchten 11 weiblichen Leichen lagen in dem Bereich von 2,0 bis 3,9 cm. Die mittlere Länge des Lotes vom Drehpunkt des Kopfes auf die Faserichtung der kranialen Zungenbeinmuskulatur war auf der

rechten und auf der linken Seite mit jeweils 2,6 cm gleich lang.

In einigen Fällen wurden außerdem die Längenänderungen des Lotes bei extremer Anteflexion gemessen und in einem Fall bei extremer Retroflexion.

Bei maximaler Anteflexion verkürzte sich die Länge des Lotes um 8 - 29 %.

In einem Fall maximaler Retroflexion wurde das Lot um 75 % länger.

Betrachtet man die Länge des Lotes in einer Normalstellung des Kopfes, so bestehen praktisch keine Seitendifferenzen. Auffallend ist aber, daß die Strecke bei Männern im Durchschnitt um 0,6 cm länger ist als bei Frauen.

Das Zungenbein ist zu den Schlundorganen zu rechnen. Diese haben bei Männern und Frauen insofern einen unterschiedlichen Bau, als der männliche Kehlkopf kräftiger ausgebildet ist als der weibliche. Sicherlich lassen sich die gefundenen Längenunterschiede bei Männern und Frauen auf diese Weise interpretieren.

Bei Messungen von Strecken zwischen zwei mobilen Punkten ist von vornherein mit einer größeren Streubreite der Meßwerte zu rechnen. So sollen auch die hier ermittelten Meßergebnisse nur als Schätzwerte verstanden werden. Ganz gewiß spielen hier auch individuelle Unterschiede

entsprechend der jeweiligen Konstitution eine große Rolle.

Die Längenänderungen der Strecke bei den verschiedenen Extreimbewegungen des Kopfes sind wegen der großen sagittalen Beweglichkeit in dem oberen Kopfgelenk zu erwarten, denn das Zungenbein nähert sich dem Kopfe stark bei der Anteflexion und entfernt sich bei der Retroflexion des Halses deutlich.

Tabelle 7A: Messungen des Lotes vom Drehpunkt des Kopfes auf die Faserrichtung der oberen Zungenbeinmuskulatur in cm.

1. MÄNNER:

Alter	rechts	links	Anteflexion	
			rechts	links
89	2,2	2,2		
84	3,8 (8%)	4,4 (16%)	3,5	3,7
83	2,9 (24%)	2,8 (21%)	2,2	2,2
78	4,7	4,7		
74	4,8 (15%)	2,8 (0%)	4,1	2,8
73	4,9 (10%)	4,8 (25%)	4,4	3,5
69	3,7 (24%)	3,7 (11%)	2,8	3,3
69	2,6	2,5		
68	2,0	2,0		
68	2,6	2,4		
64	3,5 (29%)	3,8 (11%)	2,5	3,4
62	2,2	2,0		
Mittelwert	3,3	3,2		

+))

+) Bei maximaler Retroflexion ergab sich eine Länge von 3,5 cm, also eine Längenänderung um 75 %.

Die Zahlen in Klammern geben die prozentuale Längenänderung bei Anteflexion an.

Tabelle 7B: Messungen des Lotes vom Drehpunkt des Kopfes auf die Faserrichtung der oberen Zungenbeinmuskulatur in cm.

2. FRAUEN:

Alter	rechts	links	Anteflexion	
			rechts	links
86	2,2	2,2	2,9	3,0
84	2,0	2,0		
83	3,8 (24%)	3,4 (12%)		
82	2,2	2,2		
77	2,0	2,0		
76	2,9	2,2	3,0	3,1
73	2,2	2,2		
72	3,9 (23%)	3,6 (14%)		
69	2,2	2,4		
68	2,2	2,9		
63	3,1	3,1		
Mittelwert	2,6	2,6		

Die Zahlen in Klammern geben die prozentuale Längenänderung bei Anteflexion an.

4.2.3 Bestimmung des Wirkungsgrades der auf das
obere Kopfgelenk wirkenden Muskeln gegenüber
Horizontalkräften
M. longus capitis

Der Wirkungsgrad läßt sich nach den Hebelgesetzen bestimmen. Der Ansatz der Horizontalkräfte (K_1) kann vereinfacht im Schwerpunkt des Schädels angenommen werden. Der erste Hebelarm (s_1) entspricht dann also der Strecke vom Schwerpunkt zum Drehpunkt (5,5 cm). Dieser von ventral nach dorsal gerichteten Kraft (K_1) wirkt der kaudal gerichtete Muskelzug des M. longus capitis (K_2) deshalb entgegen, weil sein Ansatz vor der Drehachse liegt. Der zweite Hebelarm (s_2) entspricht der Länge des Lots von der Drehachse auf die Faserrichtung der Muskulatur (1,5 cm).

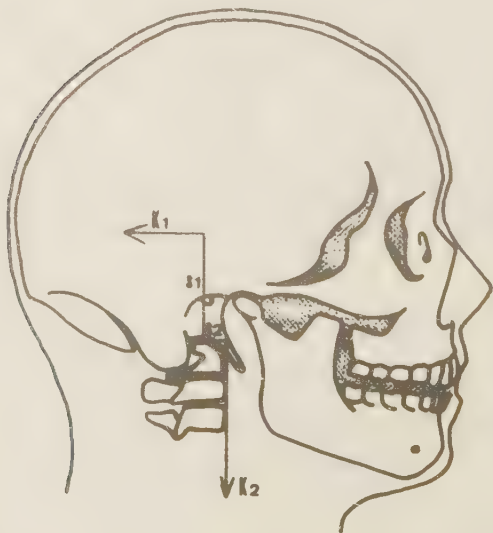


Fig. 6

Hebelwirkung des M. longus capitis am oberen Kopfgelenk.
(Zeichenerklärung siehe Text; Konturenskizze verändert nach FRIEDMAN 1970)

Nach der Formel

$$K_1 \cdot s_1 = K_2 \cdot s_2$$

gilt

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{s_2}{s_1}$$

Der Quotient $\frac{s_2}{s_1}$ ergibt, wenn man die oben bestimmten Werte einsetzt, $\frac{1,5}{5,5} = 0,27$. Mit diesem Faktor muß K_2 , also die Muskelkraft des M. longus capitis, multipliziert werden, um die Wirkung gegenüber von ventral nach dorsal gerichteten, horizontal auf den Kopf einwirkenden Kräften zu bestimmen, oder anders ausgedrückt: Der Wirkungsgrad beträgt etwa 27 %. Dies gilt nur für eine mittlere Kopfstellung, für die das Lot gemessen wurde.

Angeichts des relativ kurzen Lotes und der Nähe der prävertebralen Muskulatur zu der Drehachse dürfen jedoch Veränderungen in der Kopfhaltung vernachlässigt werden.

Obere Zungenbeinmuskulatur

Auf der gleichen Grundlage wie für den M. longus capitis soll der Wirkungsgrad für die obere Gruppe der Zungenbeinmuskulatur bestimmt werden. Der Quotient beträgt in diesem Fall für die mittlere Kopfhaltung bei Männern $\frac{3,2}{5,4} = 0,59$. Der Wirkungsgrad beträgt also 59 %.

Für Frauen ließ sich ein Quotient von $\frac{2,6}{5,6} = 0,46$ ermitteln, also ein Wirkungsgrad von 46 %.

Bei extremer Hyperflexion nimmt der Wirkungsgrad entsprechend der Strecke s_2 ab, während er bei der Extension verbessert wird. Erstaunlich ist der hohe Unterschied im Wirkungsgrad bei Männern und Frauen.

4.3 Retroflexion der Halswirbelsäule

4.3.1 Allgemeines

Wegen der außerordentlichen Kompliziertheit der Halswirbelsäulenmechanik ist es nicht möglich, ein einfaches Modell wie bei dem Atlanto-okzipital-Gelenk, welches als Scharniergelenk zu betrachten ist, anzunehmen.

Verschiedene Autoren haben Vorstellungen über die Mechanik der Halswirbelsäule entwickelt. LOB (1954) stellt die statischen Funktionen in den Vordergrund und vergleicht die Muskel-Bänder-Konstruktion mit der Vertäuerung eines Schiffsmastes. Diese Anschauung hat zweifellos ihre Grundlage in der komplizierten und dennoch sinnvollen Kreuzung von Muskel- und Sehnenfasern an der Ventralseite der Halswirbelsäule (siehe oben).

KULOWSKI (1960) sieht die Halswirbelsäule als "Biegungsfeder" mit einem beweglichen Massenaufsatz an. Da jedoch die Halswirbelsäule aus Bereichen von stark unterschiedlichem mechanischem Verhalten zusammengesetzt ist, ist dem von FIALA, CLEMENS und BUROW (1970) vorgeschlagenen Modell der Vorzug zu geben. Diese Autoren beschreiben die Halswirbelsäule als gebogenen, federnden Stab mit zwei Gelenken am oberen und am unteren Ende.

4.3.2 Prävertebrale Muskulatur

Für die reinen Rückbeugebewegungen kann die prävertebrale Muskulatur wegen des Ansatzes an jedem einzelnen Wirbelkörper für jedes einzelne Bewegungssegment gesondert betrachtet werden, d.h. entscheidend für die Kraftentwicklung ist nicht die Gesamtlängenänderung bei einem maximalen Querschnitt, sondern die Bewegungsänderung jeweils zwischen der Mitte zweier Wirbelkörper und der dort angetroffene maximale Querschnitt. Da die Schwerachsen der Wirbelkörper gegeneinander versetzt sind, ändert sich von Wirbelkörper zu Wirbelkörper der Hebelarm der Normalkraft und das Drehmoment (STROHAL 1957). Eine solche Untersuchung an den einzelnen Gliedern wurde hier jedoch nicht durchgeführt.

4.3.3 Untere Zungenbeinmuskulatur

Hier liegen andere Verhältnisse als bei der prävertebralen Muskulatur vor, da diese Muskeln ohne Verbindung mit der Unterlage und ohne Fasern abzugeben, vom Ursprung bis zum Ansatz ziehen. Die Funktion dieser Muskelgruppe dürfte weniger in einer direkten Hemmung der Rückbeugung liegen, denn sie ziehen, anders als die prävertebrale Muskulatur, weit vor der Halswirbelsäule vorbei. Durch ihren Ansatz am Zungenbein fixieren sie dieses und bieten somit der kranialen Gruppe der Zungenbeinmuskulatur einen Widerhalt bei der Hemmung der Rückbeugung. Der maximale Querschnitt der Summe dieser Muskeln ist dafür jedoch mit $2,83 \text{ cm}^2$ für Männer und mit $1,95 \text{ cm}^2$ bei Frauen relativ gering und liegt unter der Summe der Querschnitte der kranialen Zungenbeinmuskulatur.

4.3.4 Andere Strukturen, die die Rückbeugung der Halswirbelsäule hemmen

Parallel zur prävertebralen Muskulatur läuft das vordere Längsband mit einer Reißfestigkeit von 170 kg (DAVIS 1938). Es besteht aus einzelnen Schichten, die mit scherengitterartigem Netzwerk in die Wirbelkörper und vor allem in die Faserringe der Bandscheiben einstrahlen. Wegen seines mehrschichtigen Aufbaus kann es alle Bewegungen der Halswirbelsäule mitvollziehen (STOFFT 1968). Mit zunehmender Dehnung steigt die Spannung in diesem Band.

Eine wesentliche Beeinflussung der Bewegungen ist durch das elastische Verhalten der intakten Bandscheiben gegeben. Geringe Einrisse des anulus fibrosus können das Drehmoment in dem betreffenden Bewegungssegment wesentlich vergrößern und so zu einer bedrohlichen Einengung des Rückenmarkkanals führen (STROHAL 1957). Der nucleus pulposus wirkt dabei wie ein Wasserkissen und gestattet eine Beweglichkeit bis zu dem Punkt, in dem er nicht mehr durch Ausweichen reagiert, sondern einer Kompression unterliegt.

Durch die Ineinanderstauchung der Dornfortsätze kommt es zu einer knöchernen Blockierung der Rückbeugung der Halswirbelsäule. Im Bereich des oberen Kopfgelenkes entspricht dem das Aufeinandertreffen von Hinterhauptschuppe und hinterem Atlasbogen.

Die hemmenden Kräfte, die dadurch aufgebracht werden, übertreffen bei weitem die muskulären Hemmkräfte. Deshalb liegt die Vermutung nahe, daß sich die Funktion dieser Muskelgruppen eher auf die Aufrechterhaltung des Kopfgleichgewichts und auf die Willkürmotorik erstreckt, als daß sie einen wesentlichen Einfluß auf die Hemmung der Rückbeugung, z.B. beim Schleudertrauma, der Halswirbelsäule nehmen könnten.

5. Bemerkungen zur Muskelphysiologie

Nach FICK (1910) hängt die Größe der Muskelresultanten vom Querschnitt des Muskels ab, nicht von dessen Länge. Die Richtung der Muskelresultanten wird bestimmt, indem man die Mitte der Ursprungsfläche mit der Mitte der Ansatzfläche durch eine Gerade verbindet. Bei gefiederten Muskeln zieht ein Teil der Muskelkraft zur Seite (Fig.7). Dies hängt ab von dem Winkel zwischen den "Federn" und dem Muskelbauch. Also je steiler die Fiederung ist, d.h. je kleiner der Winkel α , um so geringer ist der Unterschied zwischen dem physiologischen und dem anatomischen Querschnitt. Hierbei ist die Gesamtarbeit gleich groß, welchen Winkel auch die Fasern mit der Richtung der Sehne bilden (STRASSER 1908).

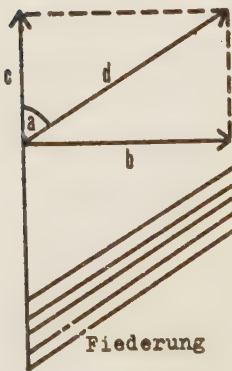


Fig. 7 (nach FICK 1910)

- a = Fiederungswinkel, $\cos a = \frac{c}{d}$
- b = seitlich ziehende Muskelkraft
- c = in Sehnenrichtung ziehende Kraft
- d = wirkliche Zugkraft

Bei allen hier bestimmten Muskeln liegt keine oder aber eine sehr steile Fiederung vor; lediglich der M. mylohyoideus weist einen größeren Fiederungswinkel auf, der jedoch in den hier vorgenommenen Untersuchungen nicht bestimmt werden konnte.

Nach STRASSER (1908) ist ein Muskel allgemein als elastischer Strang mit einer kürzesten Länge l und einer größten Länge L , bis zu der er ohne Schädigung gedehnt werden kann, aufzufassen. Die Differenz zwischen L und l entspricht der Verkürzung des Muskels bei einer Arbeitsleistung. Jeder Länge zwischen L und l kommt dabei eine bestimmte Spannung des Muskels zu, ganz unabhängig von den zeitlichen Verhältnissen der Zusammenziehung. Jedoch kosten sehr langsame und sehr schnelle Kontraktionen mehr Energie (HILL 1951). Für schnelle Dehnungen wird ebenfalls mehr Kraft benötigt, und oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit kann selbst ein unbelasteter Muskel keine Verkürzung durchführen.

Nach BLEICHERT (1962) gelten für die Muskulatur die HOOKE'schen Elastizitätsgesetze nicht, weil erstens die Längenänderung klein sein muß im Vergleich zur Ausgangslänge. Der Muskel läßt sich jedoch auf das Doppelte seiner Ausgangslänge dehnen; und weil zweitens die Längenänderung in weiten Bereichen proportional der Kräfteänderung sein

soll. Der Muskel wird aber mit zunehmender Belastung immer weniger dehnbar. Deshalb wird bei der Muskulatur statt von Elastizität von Steifheit gesprochen. Diese ist definiert durch die Formel $s = \frac{\Delta k}{\Delta l}$ $\left[\text{kg cm}^{-1} \right]$. (Hierbei ist: s = Steifheit; Δk = am Muskel wirkende Kraftänderung; Δl = die bei Kraftänderung Δk eintretende Längenänderung des Muskels.) Der Reziprokwert $\frac{\Delta l}{\Delta k}$ ist als Dehnbarkeit des Muskels definiert (GÖPFERT 1962), die jedoch für den Muskel keine Materialkonstante ist.

Entsprechend der Abnahme der Dehnbarkeit bei zunehmender Belastung hat die Ruhe-Dehnungskurve der Muskulatur einen exponentiellen Verlauf. Dies beruht auf dem "zellulären Tonus", der bedingt ist durch die Myofibrillen, die interfibrilläre Flüssigkeit sowie durch das Bindegewebe im Sarkolemm und zwischen den Fasern. Unabhängig davon besteht ein "kontraktiler Tonus", der bestimmt wird durch die Zahl der gerade innervierten Fasern (GÖPFERT 1962). Der kontraktile Tonus wird durch die Innervation intrafusaler Fasern über Neurone erhöht, was z.B. in einer Steigerung der Eigenreflexe zum Ausdruck kommt. Die Spannung der Muskulatur in Ruhe hängt weitgehend von der Haltung ab und ist durch verschiedenartige Reize leicht zu erhöhen (GÖPFERT 1962).

Die größte Spannung kann ein Muskel aus einer Ruhe-

länge heraus entwickeln (WOODBURY 1966 u.a.). Die totale Spannung, die ein Muskel unter optimalen Bedingungen entwickeln kann, ist eine Funktion der Faserzahl und damit des physiologischen Querschnitts.

Die Werte für die absolute Muskelkraft differieren in der Literatur. WOODBURY u.a. (1966) geben 4 kg/cm^2 an, BOWEN (1939) 6 kg/cm^2 , FICK (1910) 10 kg/cm^2 , BRAUS-ELZE (1954) 11 kg/cm^2 , und BLEICHERT (1962) gibt sogar 12 kg/cm^2 an. Dagegen ist der Muskeltonus bei tiefer Narkose nach FICK (1910) auf 50 g/cm^2 herabgesetzt. Jedoch weist er auch gleich darauf hin, daß Berechnungen der Gesamtkraft eines Muskels immer ungenaue Schätzungen darstellen.

Für das spezielle Problem der Haltemuskulatur von Kopf und Halswirbelsäule gilt, was HUFSCHMIDT (1962) über die Koordination der menschlichen Rückenmuskeln angibt. Schwerpunktsverlagerungen wird auf zweierlei Weise entgegengewirkt. Erstens "propriozeptiv" durch die sensiblen Endorgane der aktivierten Muskulatur, und zweitens "programmatisch" durch gleichzeitige, zentrale Mitinnervation der entsprechenden gegenhaltenden Muskulatur im Sinne eines "funktionellen Synzitis". Die Anordnung der prävertebralen Muskulatur entspricht der "Zuggurtung", wie sie PAUWELS (1965) beschrieben hat, und setzt damit die Biegungsbeanspruchung der Halswirbelsäule herab.

Wegen ihres Gehaltes an relativ dehnbaren und langen Sehnen können die prävertebralen Muskeln eine große Menge kinetischer Energie speichern, die bei Nachlassen der Kräfte wieder freigegeben wird (HILL 1951). Dies ist von besonderer Bedeutung bei der sekundären Hyperflexion während eines Schleudertraumas. Bei dieser Verletzung ist es wichtig, daß sie zumeist plötzlich und unerwartet eintritt und in Millisekunden abläuft, was - wie oben erwähnt - die muskulären Abwehrkräfte herabsetzt.

Sollte jedoch durch ein Erkennen der Gefahr eine abwehrende Kontraktion gerade durchgeführt werden, so stellt dies eine weitere Verletzungsquelle dar. Wenn nämlich der Muskel im gleichen Moment durch gegensinnige Kräfte gedehnt wird, kommt es wegen der sehr großen Kraftentstehung zu einem Muskelriß (HILL 1951).

6. Zusammenfassung

Die Untersuchungen über Verlauf und Form der prävertebralen und der Zungenbeinmuskulatur bei Menschen führten zu folgenden Ergebnissen:

Die Präparation der prävertebralen Muskulatur zeigte, daß diese Muskeln in ihrer gesamten Länge von kräftigen Sehnen durchzogen sind, an denen die Muskelfasern ansetzten. Die einzige Ausnahme macht hierbei der kraniale Teil des M. longus capitis, der nur muskulös ist. Aufgrund dieser Sehnenkonstruktion wurde geschlossen, daß diesen Muskeln eher statische als dynamische Funktionen zukommen. Eine besondere Bedeutung für die Verankerung dieser Sehnenstränge haben der dritte bis fünfte Halswirbelkörper. Dieser Bereich ist nach kranial wie nach kaudal durch jeweils zwei Sehnen-Muskelzüge wie mit einer Zuggurtung verankert.

Querschnittsmessungen der prävertebralen Muskulatur wurden an 14 Halswirbelsäulen durchgeführt. Dabei fiel auf, daß zwei Querschnittsmaxima bestehen. Zwischen Hinterhaupt und erstem Halswirbelkörper beträgt der mittlere Querschnitt $2,4 \text{ cm}^2$ (nur M. longus capitis). In Höhe des dritten Halswirbelkörpers liegt das zweite Maximum. Hier beträgt der errechnete Mittelwert $2,2 \text{ cm}^2$. Wegen des hohen Alters der untersuchten Leichen sind die Ergebnisse, be-

zogen auf das mittlere Mannesalter, etwa um 50 - 100 % zu gering. Dies wurde aus den von THEILE (1884) angegebenen Muskelgewichten geschlossen.

Die mittlere Länge des M. longus capitis beträgt 12,0 cm, die Längenänderung bei maximaler Retroflexion liegt zwischen 18 und 20 % der Länge bei maximaler Ante-
flexion der Halswirbelsäule. Die mittlere Länge des M. longus colli beträgt 15,9 cm, seine Längenänderung bei maximaler Hyperextension ist 14 - 16 % der Ausgangslänge.

Angeichts dieser minimalen Längenänderung sind Muskelzerreißen bei sonst intakter Halswirbelsäule unwahrscheinlich, es sei denn, der Muskel wird im Zustande einer gerade stattfindenden Kontraktion plötzlich gedehnt.

An 23 Leichen wurden die maximalen Querschnitte der einzelnen Zungenbeinmuskeln bestimmt. Wegen der unterschiedlichen Verlaufsrichtung der einzelnen Muskeln wurden hier keine Summen der maximalen Querschnitte gebildet. Bei jedem einzelnen Muskel wurde außerdem die Länge bestimmt.

Mittels einer Zweipunkteaufhängung wurden an den Köpfen von 18 Leichen der Schädelschwerpunkt bestimmt. Die äußere Projektion des Schwerpunktes wurde am vorderen oberen Ansatz der Ohrmuschel gefunden, direkt über den Okzipitalkondylen. Der mittlere Abstand vom Drehpunkt des

Schädels zum Schwerpunkt betrug 5,5 cm, der vom Drehpunkt zum Scheitelpunkt mißt bei Männern 16,6 cm und bei Frauen 15,6 cm.

Das Lot vom Schädeldrehpunkt auf die Faserrichtung des *M. longus capitis* wurde mit 1,5 cm gemessen. Das Lot auf die Faserrichtung der oberen Zungenbeinmuskulatur beträgt 3,3 cm bei Männern und 2,6 cm bei Frauen. Bei maximaler Anteflexion verkürzt sich diese Strecke um 8 - 25 %. Bei maximaler Retroflexion (nur eine Messung) wurde das Lot um 75 % länger.

Der Wirkungsgrad des *M. longus capitis* gegenüber von ventral nach dorsal gerichteten, horizontal auf den Kopf einwirkenden Kräften beträgt etwa 27 % bei mittlerer Kopfstellung. Für die obere Zungenbeinmuskulatur wurde gegenüber den gleichen Kräften bei mittlerer Kopfhaltung für Männer ein Wirkungsgrad von 59 % und für Frauen von 46 % der tatsächlichen Muskelkraft ermittelt. Wegen der starken Längenänderung bei der Retroflexion des Kopfes wird für diese Muskelgruppe der Wirkungsgrad wesentlich verbessert.

7. Literaturverzeichnis

- BLEICHERT, A. : Allgemeine Muskelphysiologie.
In: Landois-Rosemann, Lehrbuch
der Physiologie des Menschen,
Bd 2
Urban & Schwarzenberg,
München und Berlin 1962
- BOWEN, W. P. : Applied anatomy and kinesiology.
Lea & Febiger,
Philadelphia 1939
- BRAUNE, W. und
O. FISCHER : Über den Schwerpunkt des mensch-
lichen Körpers mit Rücksicht
auf die Ausrüstung des deutschen
Infanteristen.
Abh.d.math.-phys. Klasse der
Königl.Saechs.Gesellsch.d.
Wissensch.
26 (1889) 561-672
- BRAUS, H. und
C. ELZE : Anatomie des Menschen. Bd 1
Springer-Verlag,
Berlin, Göttingen, Heidelberg
1954
- BUCHNER, H. : Kritische und experimentelle
Studien über den Zusammenhalt
des Hüftgelenks während des
Lebens in allen normalen Fällen.
Arch. Anat. Entw.gesch.,
Leipzig (1877) 22
- DAVIS, A. G. : Tensile strength of the anterior
longitudinal ligament in rela-
tion to the treatment of 132
crash fractures of the spine.
J. Bone Jt. Surg.
20 (1938) 429
- EISLER, P. : Handbuch der Anatomie des Men-
schen. Bd 2
Gustav Fischer Verlag,
Jena 1912
- FABRICIUS, B. : Stoßartige Beschleunigung von
Fahrzeuginsassen bei Auffahr-
unfällen.
Inaug.Diss. an der Fak. V
Maschinenwesen der TU Berlin
1969

- FIALA, E.,
H. J. CLEMENS und
K. BUROW : Verletzungsmechanik der Hals-
wirbelsäule.
Forschungsbericht Nr. 99 aus dem
Institut für Kraftfahrzeuge der
TU Berlin 1970
- FICK, R. : Handbuch der Anatomie und
Mechanik der Gelenke. Bd 2
Gustav Fischer Verlag,
Jena 1910
- FICK, R. : Handbuch der Anatomie und
Mechanik der Gelenke. Bd 3
Gustav Fischer Verlag,
Jena 1911
- FRIEDMAN, S. M. : Visual Anatomy I. Head and Neck.
Harper & Row, New York,
Evanston, and London 1970
- GERSHON-COHEN, J.,
E. BADIN und
F. GLAUSER : Whiplash fractures of the
cervico-dorsal spinous processes.
J. Amer. Med. Ass.
155 (1954) 560
- GÖGLER, E. : Mehrfachverletzungen und Unfall-
mechanismen im Straßenverkehr.
Hefte Unfallhk. Berlin
66 (1961) 138
- GÖGLER, E. : Schleuderverletzungen der Hals-
wirbelsäule.
Die Wirbelsäule in Forschung und
Praxis
25 (1962) 159
- GÖGLER, E. : Chirurgie und Verkehrsmedizin.
In: Handbuch der Verkehrsmedizin.
Hrsg. K. Wagner u. H. J. Wagner
Springer-Verlag, Berlin,
Heidelberg, New York 1968 S.417
- GÖPFERT, H. : Physiologische Betrachtungen über
die Muskelspannung.
Die Wirbelsäule in Forschung und
Praxis
26 (1962) 20
- GRAY, H. : Anatomy of the human body.
Lea & Febiger,
Philadelphia 1949

- GROHMANN, W. : Über die Arbeitsleistung der am
Ellbogengelenk wirkenden Muskeln.
Arch. Anat., Anat. Abt.
(Leipzig) (1902) 315
- GÜNTZ, E. : Die Kyphose im Jugendalter.
Die Wirbelsäule in Forschung und
Praxis
2 (1957)
- HADLEY, L. A. : Anatomico-roentgenographic
studies of the spine.
Charles C. Thomas,
Springfield 1964
- HARLESS, E. : Die statischen Momente der
Gliedmassen.
Abh.d.math.-physik.Classe d.
Koenigl.Bayr.Akademie d.
Wissensch., Bd 8, S. 69
Verlag der koeniglichen Akademie,
München 1860
- HENLE, J. : Handbuch der systematischen
Anatomie des Menschen. Bd 1
F. Vieweg & Sohn,
Braunschweig 1871
- HERTZBERG, H. T. E. : The anthropology of anthropo-
morphic dummies.
Proc. 13th Stapp Car Crash
Conference, Boston 1969 S. 21
- HILL, A. V. : The mechanics of voluntary
muscle.
The Lancet
2 (1951) London 947
- HINZ, P.,
R. R. COERMANN und
W. LANGE : Das Verhalten der Halswirbelsäule
bei der Simulation von Auffahr-
unfällen.
Mschr. Unfallhk.
72 (1969) 321
- HUFSCHMIDT, H. J. : Willkürliche und reflektorische
Koordination der menschlichen
Rückenmuskeln.
Die Wirbelsäule in Forschung und
Praxis
26 (1962) 29

- HYRTL, J. : Lehrbuch der Anatomie des Menschen mit Rücksicht auf physiologische Begründung und praktische Anwendung.
Wilhelm Braumüller, Wien 1889
- IKEDA, K. und
N. SAKURADA : Experimental and clinical study of mechanism and pathological condition of whiplash injury.
The Journal of Western Pacific Orthopedic Association
6 (1969) 149
- KRAUSE, C. F. Th. : Handbuch der Anatomie.
Bd 2 und 3
Hahn'sche Buchhandlung,
Hannover 1879
- KULOWSKI, J. : Crash injuries.
Charles C. Thomas,
Springfield 1960
- LANZ, T. v. und
A. HENNIG : Die Rollwirkungen des M. iliopsoas und Femurtorsion.
Zschr. Anat. Entw.gesch.
117 (1953) 382
- LANZ, T. v. und
W. WACHSMUTH : Praktische Anatomie.
Bd 2
Springer-Verlag, Berlin,
Göttingen, Heidelberg 1955 S.173
- LIPPERT, H. : Untersuchungen am M. rhomboideus.
Anat. Anz.
106 (1959) 291
- LOB, A. : Die Wirbelsäulenverletzungen und ihre Ausheilung.
Georg Thieme Verlag,
Stuttgart 1954
- LUSCHKA, H. : Die Anatomie des Menschen.
Bd 1
Laupp'sche Buchhandlung,
Tübingen 1862
- MARTINEZ, J. L. und
D. J. GARCIA : A model for whiplash.
Journal of Biomechanics
1 (1968) 23

- NAAAB, K. N. : Measurement of detailed inertial properties and dimensions of a 50th percentile anthropometric dummy.
Proc. of 10th Stapp Car Crash Conference, New Mexico 1966 S.187
- PAUWELS, F. : Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates.
Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1965
- PERNKOPF, E. : Atlas der topographischen und angewandten Anatomie des Menschen.
Urban & Schwarzenberg, München und Berlin 1963
- RAUBER, A. und F. KOPSCH : Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. Bd 1
Georg Thieme-Verlag, Stuttgart 1968
- ROESSLE, R. und F. ROULET : Maß und Zahl in der Pathologie.
In: Pathologie und Klinik in Einzeldarstellungen, Bd 5
J. Springer-Verlag, Berlin und Wien 1932
- ROSCHDESTWENSKY, J. und R. FICK : Über die Bewegungen im Hüftgelenk und die Arbeitsleistung der Hüftmuskeln.
Arch. Anat., Anat. Abt. (Leipzig) (1913) 365
- SEVERY, D. M., J. H. MATHEWSON und C. O. BECHTOL : Controlled automobile rear-end collisions.
Canad. Med. Serv. J. 11 (1955) 173
- SCHUMACHER, G. H. und E. WOLFF : Trockengewicht und der physiologische Querschnitt der Skelettmuskulatur.
Anat. Anz. 119 (1966) 270
- SOBOTTA, J. und H. BECHER : Atlas der deskriptiven Anatomie des Menschen. Bd 1
Urban & Schwarzenberg, München und Berlin 1957

- STOFFT, E. : Das ligamentum longitudinale posterior in funktionell anatomischer Sicht.
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis
40 (1968) 96
- STRASSER, H. : Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik.
J. Springer-Verlag, Berlin 1908
- STROHAL, R. : Überlegungen zur Statik der Wirbelsäule.
Hippokrates
28 (1957) 607
- TARRIERE, C. und C. SAPIN : Biokinetic study of the head to thorax linkage.
Proc. 13th Stapp Car Crash Conference, Boston 1969
- THEILE, F. W. : Gewichtsbestimmungen zur Entwicklung des Muskelsystems und des Skeletts beim Menschen.
Verhandlungen der Kaiserlich Leopoldinisch Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher Halle
46 (1884) 134-471
- WEBER, E. F. : Über die Längenverhältnisse der Fleischfasern der Muskeln im Allgemeinen.
Ber. über d. Verh. d. königl.-sächs. Ges. d. Wissensch. zu Leipzig.
Math.-physisch. Classe
Weidmann'sche Buchhandlung, Leipzig 1851 S. 63-86
- WOODBURY, J. W., A. M. GORDON und J. T. CONRAD : Muscle.
In: Physiology and Biophysics.
By T.C. Ruch and H.D. Putton
W. B. Saunders Comp., Philadelphia, London 1966 S.113
- ZABOROWSKI, A. B. : Human tolerance to lateral impact with lap belt only.
8th Stapp Car Crash and Field Demonstration Conference
Detroit 1966 S. 34

8. Anhang

I. Einzelmeßwerte zu Tab. 1 - 3

Querschnittsmessungen des M. longus capitis und des M. longus colli (jeweils rechts und links getrennt); wo möglich, Bestimmung des Querschnitts der gesamten prävertebralen Muskulatur in cm^2 .

Für alle Tabellen gilt:

+ Muskel vorhanden, aber nicht meßbar

- Muskel verläuft nicht in diesem Bereich

Erscheinen Meßwerte nur bei der gesamten prävertebralen Muskulatur, so konnten M. longus capitis und M. longus colli nur gemeinsam bestimmt werden.

Tabelle I A (66 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	+	+	-	-	+
C1	0,79	+	0,49	0,35	+
C2	0,23	0,17	0,42	0,48	1,30
C3	0,54	0,46	0,28	0,32	1,60
C4	+	+	+	+	0,66
C5	+	+	+	+	+
C6	+	+	+	+	1,28
C7	-	-	+	+	+
Th1	-	-	+	0,42	+
Th2	-	-	+	0,20	+

Tabelle I B (69 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,52	1,14	-	-	2,66
C1	+	+	+	+	+
C2	0,45	0,30	0,37	0,46	1,58
C3	+	0,54	+	0,60	2,39
C4	0,32	0,44	0,61	0,57	1,94
C5	0,40	0,24	0,74	0,59	1,97
C6	+	+	+	+	0,84
C7	-	-	+	+	+
Th1	-	-	0,31	0,22	0,53

Tabelle I C (69 Jahre, männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,36	1,38	-	-	2,74
C1	+	+	+	+	+
C2	+	+	1,13	0,91	+
C3	0,47	0,58	1,18	0,94	3,17
C4	+	+	+	+	+
C5	0,49	0,40	0,49	0,48	1,86
C6	+	+	+	+	1,64
C7	-	-	0,19	0,65	0,84
Th1	-	-	+	+	+
Th2	-	-	+	0,42	+
Th3			+	0,13	+

Tabelle I D (72 Jahre, männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	+	+	-	-	+
C1	+	1,22	0,23	0,31	+
C2	+	+	+	+	+
C3	0,36	0,45	0,55	0,70	2,06
C4	0,52	0,51	0,51	0,47	2,01
C5	0,32	0,41	0,62	0,52	1,87
C6	+	+	+	+	1,39
C7	-	-	+	+	+
Th1	-	-	0,51	0,69	1,20
Th2	-	-	0,21	0,23	0,44

Tabelle I E (73 Jahre männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	0,72	0,65	-	-	1,37
C1	0,59	+	1,22	0,98	+
C2	0,50	0,51	1,12	0,97	3,10
C3	0,57	+	0,78	+	2,49
C4	+	0,32	0,64	0,65	+
C5	0,47	0,33	0,72	1,17	2,69
C6	0,44	0,59	0,86	0,29	2,18
C7	-	-	+	+	1,84
Th1	-	-	+	+	1,84
Th2	-	-	0,49	0,55	1,04
Th3	-	-	0,38	0,41	0,79
Th4	-	-	0,15	0,14	0,29

Tabelle I F (74 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,58	1,75	-	-	3,33
C1	0,13	+	0,39	0,28	+
C2	0,31	+	0,37	0,54	+
C3	+	0,25	0,65	0,56	+
C4	+	0,32	0,55	0,53	+
C5	+	+	+	+	+
C6	+	+	+	+	1,65
C7	-	-	0,56	0,43	0,99
Th1	-	-	0,35	0,45	0,80
Th2	-	-	+	0,47	+

Tabelle I G (74 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	0,93	1,40	-	-	2,33
C1	0,35	+	0,38	0,34	+
C2	+	+	+	+	0,89
C3	+	+	+	+	0,85
C4	+	+	+	+	0,96
C5	+	+	+	+	+
C6	+	+	+	+	0,90
C7	-	-	0,45	0,46	0,91
Th1	-	-	0,20	0,35	0,55
Th2	-	-	0,08	0,05	0,13

Tabelle I H (76 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,00	1,95	-	-	2,95
C1	+	+	0,45	+	+
C2	+	+	+	+	+
C3	+	0,24	0,56	0,69	+
C4	+	+	+	+	+
C5	0,36	0,32	0,70	0,44	1,82
C6	+	+	+	+	+
C7	-	-	0,54	0,58	1,12
Th1	-	-	0,43	0,33	0,76
Th2	-	-	+	0,33	+

Tabelle I J (78 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,13	1,40	-	-	2,53
C1	0,36	1,17	+	+	1,53
C2	0,42	0,13	0,48	0,48	1,51
C3	0,42	+	0,52	+	1,66
C4	0,28	+	0,72	0,65	+
C5	+	+	+	+	1,75
C6	+	+	+	+	+
C7	-	-	+	+	+
Th1	-	-	+	0,55	+
Th2	-	-	+	0,46	+

Tabelle I K (78 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	+	+	-	-	+
C1	+	0,75	+	+	+
C2	0,13	+	0,51	0,75	+
C3	+	0,50	+	1,12	2,74
C4	+	+	+	+	2,45
C5	0,13	0,31	0,37	0,44	1,25
C6	+	+	+	+	1,70
C7	-	-	0,27	0,19	0,46
Th1	-	-	+	0,18	+

Tabelle I L (78 Jahre, männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,52	1,38	-	-	2,90
C1	0,82	0,65	+	+	+
C2	+	0,35	+	0,59	1,94
C3	+	0,31	+	0,74	+
C4	+	0,28	0,37	0,46	+
C5	+	+	+	+	0,88
C6	+	+	+	+	1,23
C7	-	-	+	+	1,14
Th1	-	-	0,09	0,13	0,22
Th2	-	-	0,08	0,11	0,19

Tabelle I M (81 Jahre, männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	1,01	0,73	-	-	1,74
C1	+	+	+	+	1,38
C2	0,36	0,49	0,44	0,38	1,67
C3	0,99	0,67	0,88	0,73	3,27
C4	0,59	0,61	0,52	0,91	2,63
C5	+	+	+	+	1,03
C6	+	+	+	+	+
C7	-	-	0,51	0,63	1,14

Tabelle I N (82 Jahre, männlich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	0,69	1,05	-	-	1,74
C1	+	+	+	+	+
C2	0,48	0,25	0,57	0,40	1,70
C3	+	0,53	0,59	0,73	+
C4	0,47	0,30	0,48	0,53	1,78
C5	0,26	0,41	0,53	0,63	1,83
C6	+	+	+	+	+
C7	-	-	0,51	0,95	1,46
Th1	-	-	0,54	0,40	0,94
Th2	-	-	0,40	0,31	0,71

Tabelle I 0 (82 Jahre, weiblich)

	M. long. capitis li re		M. long. colli li re		Ges. präv. M. re und li
Os occ.	+	+	-	-	+
G1	1,24	1,08	0,41	0,44	3,17
G2	0,47	0,37	0,17	0,32	1,33
G3	0,42	0,42	0,68	0,54	2,06
G4	0,54	0,44	0,69	0,76	2,43
G5	+	0,25	0,59	0,57	+
G6	+	+	+	+	2,08
G7	-	-	0,37	0,38	0,75
Th1	-	-	+	+	+
Th2	-	-	0,08	0,17	0,25

II. Einzelmeßwerte zu Tab. 4 und 5

Querschnitts- und Längenmessungen der Zungenbein-
muskeln.

Für alle Tabellen gilt:

+ Muskelfläche bzw. -querschnitt war nicht meßbar

Tabelle II A (M. sternohyoideus, männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	10,0	10,0	37	42
64	9,5	10,0	43	41
68	10,0	10,0	44	40
68	8,0	9,0	48	39
69	7,5	6,0	28	28
69	13,0	12,0	40	40
73	11,0	11,0	34	38
74	11,5	12,0	39	20
78	10,0	10,0	38	28
83	9,5	10,0	18	39
84	11,0	10,0	20	26
89	11,0	10,5	42	16

Tabelle II B (M. sternohyoideus, weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	+	9,0	10	19
68	+	7,5	+	27
69	8,0	6,0	29	15
72	4,5	5,0	25	32
73	9,5	8,0	14	22
76	7,0	+	8	+
77	6,0	6,0	15	26
82	5,0	5,0	10	15
83	+	+	+	+
84	8,5	6,5	38	38
86	+	+	+	+

Tabelle II C (M. sternothyreoideus, männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	6,0	5,5	26	32
64	6,0	6,0	45	37
68	+	+	+	+
68	5,0	7,0	27	34
69	4,0	4,0	26	50
69	10,0	8,0	37	25
73	7,0	6,0	54	51
74	7,0	7,0	46	37
78	6,5	6,0	10	11
83	6,0	6,0	28	34
84	6,5	6,0	20	21
89	7,5	6,5	19	30

Tabelle II D (M. sternothyreoideus, weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	+	9,0	10	19
68	+	7,5	+	27
69	8,0	6,0	29	15
72	4,5	5,0	25	32
73	9,5	8,0	14	22
76	7,0	+	8	+
77	6,0	6,0	15	26
82	5,0	5,0	10	15
83	+	+	+	+
84	8,5	6,5	38	38
86	+	+	+	+

Tabelle II E (M. thyreohyoideus, männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	5,0	5,0	41	40
64	3,5	3,5	45	48
68	+	+	+	+
69	4,0	4,0	48	40
69	3,5	3,5	41	38
73	4,0	4,0	45	40
74	4,0	4,0	37	35
78	4,0	5,0	54	43
83	4,0	3,5	35	32
84	4,0	4,0	39	36
89	3,5	4,5	50	40

Tabelle II F (M. thyreohyoideus, weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	3,0	4,5	14	19
68	+	3,5	+	21
69	3,0	3,0	24	9
72	3,0	3,5	30	32
73	3,5	4,0	26	10
76	+	+	+	+
77	3,5	3,5	21	19
82	3,0	2,5	22	16
83	+	+	+	+
84	4,0	5,0	40	38
86	+	+	+	+

Tabelle II G (M. omohyoideus vent. sup., männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	7,0	7,5	40	34
64	8,0	7,0	44	46
68	+	+	+	+
68	+	7,5	+	17
69	7,0	5,5	26	35
69	9,0	9,0	18	22
73	+	+	+	+
74	10,0	8,0	55	58
78	6,5	6,0	21	22
83	6,0	9,5	56	33
84	7,0	6,0	24	66
89	+	+	45	41

Tabelle II H (M. omohyoideus vent. sup., weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	9,0	10,0	15	13
68	+	7,5	+	22
69	8,0	6,5	46	30
72	6,5	8,0	16	21
73	+	6,5	+	16
76	7,5	6,5	32	38
77	6,0	8,0	20	15
82	+	+	+	+
83	+	+	+	+
84	6,5	5,5	32	28
86	+	7,0	+	32

Tabelle II J (M. omohyoideus vent. inf., männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	7,0	8,5	29	31
64	6,5	7,0	20	49
68	+	+	+	+
68	+	5,0	+	13
69	5,0	5,0	10	12
69	5,0	6,5	9	14
73	+	+	+	+
74	7,5	9,0	41	41
78	3,0	3,0	32	42
83	6,0	5,0	24	10
84	8,0	8,0	19	22
89	+	+	+	+

Tabelle II K (M. omohyoideus vent. inf., weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	+	+	+	+
68	+	8,0	+	26
69	7,0	6,0	29	8
72	+	+	+	+
73	+	5,0	+	7
76	+	7,0	30	16
77	6,0	6,0	8	12
82	+	+	+	+
83	+	+	+	+
84	6,0	6,0	26	28
86	+	+	+	+

Tabelle II L (M. digastricus vent. ant., männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	4,5	+	61	+
64	4,0	4,0	65	82
68	4,0	4,5	72	84
68	4,0	4,5	50	72
69	3,5	3,5	26	40
69	4,5	4,5	38	43
73	4,5	4,0	46	60
74	4,5	4,5	84	80
78	3,0	3,0	32	42
83	5,0	5,0	64	80
84	4,5	5,0	52	66
89	5,0	5,0	72	70

Tabelle II M (M. digastricus vent. ant., weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	5,5	5,5	28	30
68	4,0	4,0	51	60
69	3,0	3,0	41	45
72	5,5	5,0	58	57
73	5,0	4,5	32	26
76	4,0	4,5	34	26
77	3,5	4,0	34	32
82	6,0	6,0	34	29
83	4,0	4,0	28	42
84	4,0	4,0	63	53
86	5,0	5,0	45	45

Tabelle II N (M. digastricus vent. post., männlich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	+	7,5	+	26
64	+	6,0	+	18
68	+	+	+	+
68	8,0	8,0	24	10
69	+	+	+	+
69	+	7,0	+	31
73	7,0	7,5	16	+
74	7,0	7,5	28	25
78	7,0	7,0	25	29
83	6,0	8,0	25	30
84	7,0	7,0	56	42
89	7,0	7,0	35	49

Tabelle II O (M. digastricus vent. post., weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	+	+	+	+
68	+	+	+	+
69	+	+	+	+
72	+	+	+	+
73	6,0	6,5	18	22
76	+	+	+	+
77	7,0	6,5	31	23
82	+	+	+	+
83	+	+	+	+
84	+	5,0	+	8
86	6,0	6,0	+	20

Tabelle II P (M. mylohyoideus, männlich)

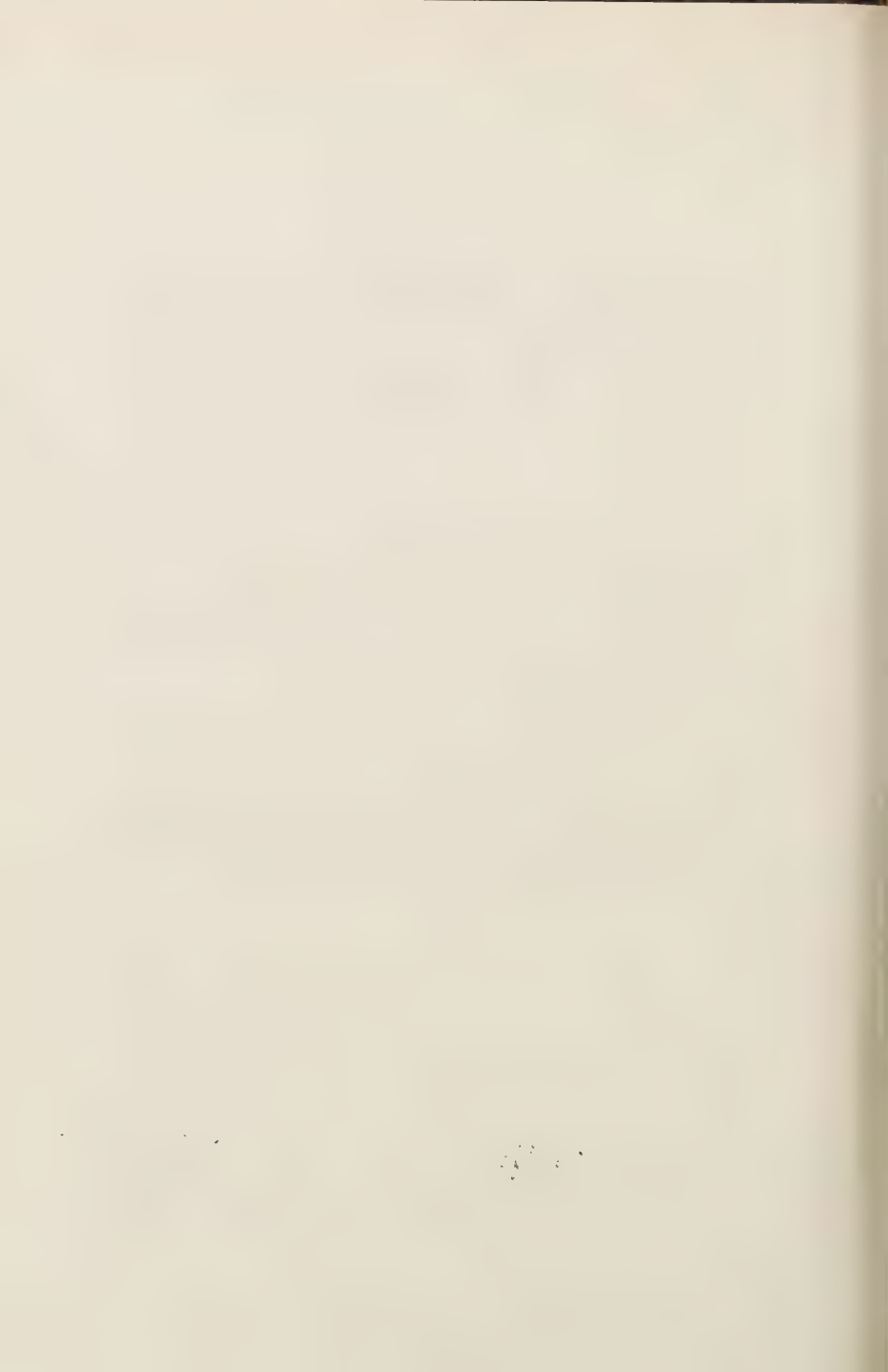
Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
62	4,0	4,0	150	258
64	3,5	3,5	248	216
68	+	+	+	+
68	+	+	+	+
69	+	+	+	+
69	4,0	4,0	168	106
73	+	+	+	+
74	3,5	3,5	174	256
78	3,0	3,0	99	108
83	4,0	4,0	200	189
84	3,5	4,0	184	122
89	3,5	4,0	100	112

Tabelle II Q (M. mylohyoideus, weiblich)

Alter	Länge (cm)		Fläche (mm ²)	
	rechts	links	rechts	links
63	+	+	+	+
68	+	+	+	+
69	+	+	+	+
72	+	+	+	+
73	+	+	+	+
76	+	+	+	+
77	3,5	4,0	105	99
82	+	+	+	+
83	3,0	3,0	72	74
84	4,0	4,0	122	180
86	+	+	+	+

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Professor Dr. med.
H. J. CLEMENS für die Überlassung des Themas sowie
die beim Erstellen der Arbeit zu jeder Zeit gegebene
freundliche Unterstützung und Beratung.

Fräulein U. SAUERBIER, Fotografin am III. Anatomischen
Institut der Freien Universität Berlin, verdanke ich
die Durchführung aller fotografischen Arbeiten, welche
zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.



Lebenslauf

Ich wurde am 2. März 1947 in Stetten i.R. als einziges Kind des Ingenieurs Eberhard Single und seiner Ehefrau Cläre, geb. Fittinger, geboren.

Nachdem ich vier Jahre die Grundschule und neun Jahre das Gymnasium in Waiblingen besucht hatte, bestand ich dort im Jahre 1966 die Reifeprüfung. Im April 1966 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin und legte 1967 das Vorphysikum und im Herbst 1968 das Physikum ab.

Im Februar 1972 bestand ich das medizinische Staatsexamen an der Freien Universität Berlin mit "sehr gutem" Erfolg.

